

HANDBUCH

der

PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN

für Vorlesungen.

Von

Dr. Johannes Müller,

ordentl. öffentl. Professor der Anatomie und Physiologie an der Königl. Friedrich Wilhelms-Universität und an der Königl. medicin.-chirurg. Militär-Academie in Berlin, Director des Königl. anatom. Museums und anatom. Theaters; Mitglied der Königl. Academie der Wissenschaften zu Berlin, corresp. Mitglied der Kaiserl. Academie der Wissenschaften zu St. Petersburg, Mitglied der Königl. Academie der Wissenschaften zu Stockholm.

Zweiten Bandes erste Abtheilung.

Mit Königlich Würtembergischen Privilegien.

Coblenz,
Verlag von J. Hölscher.
1837.



Handbuch

der

Physiologie des Menschen.

Von

Johannes Müller.

Zweiten Bandes erste Abtheilung.

Der

speciellen Physiologie

Viertes Buch.

Von den Bewegungen, von der Stimme und Sprache.

Der speciellen Physiologie

Viertes Buch.

Von den Bewegungen, von der Stimme und Sprache.

I. Abschnitt. Von den Organen, Erscheinungen und Ursachen der thierischen Bewegung.

I. Capitel. Von den verschiedenen Formen der Bewegung und Bewegungsorgane.

Man kann bei den Thieren im Allgemeinen zweierlei Art der lebendigen Bewegung fester Theile unterscheiden, welche durch die Natur ihrer Organe, ihrer Erscheinungen und Ursachen ganz verschieden sind; die Bewegung durch Zusammenziehung von Fasern, und die Bewegung von Wimpern mit freien Enden durch Oscillation derselben, ohne deutlich nachweisbare organische Apparate als die Wimpern selbst. Im ersten Falle bewegen sich an beiden Enden fixirte Fasern oder cirkelförmig in sich zurücklaufende Faserschleifen durch Verkürzung ihrer Fasern, und durch diese Verkürzung werden die fixirten Theile einander genähert. Die meisten dieser Bewegungen werden durch Muskelfasern, einige wenige durch Fasern bewirkt, die sich ihrer Structur und chemischen Eigenthümlichkeit nach von den Muskelfasern unterscheiden. Bei der zweiten Classe thierischer Bewegungen schwingen mikroskopisch feine Wimpern, womit die Oberflächen gewisser Häute besetzt sind, in bestimmter Richtung, so dass die freien Enden dieser Wimpern Bogenabschnitte um ihre fixirten Basen zurücklegen. In diesem Fall ist nur das Basilarende des Bewegungsorganes fixirt. Durch die Bewegung der Fasern und namentlich durch die Muskelbewegung werden theils feste Theile einander genähert, theils Flüssigkeiten in muskelhäutigen Röhren fortgetrieben; durch die Wimperbewegung werden nur Flüssigkeiten und mikroskopisch feine festere Theilchen an den Wänden der Häute fortgeleitet, ohne dass die fortgeleiteten Flüssigkeiten die ganze Höhle der Schläuche, wie im ersten Fall, anfüllen, und ohne dass die Wände, worauf diese Phänomene vorkommen, sich zu-

sammenziehen. Die Bewegung durch Fasern ist viel ausgebreiteter als die Wimperbewegung. Alle Bewegungen fester Theile zwischen der Haut und dem Knochengerüst, alle Bewegungen ganzer Schläuche oder ihrer Theile werden, so weit sie von Lebensactionen und nicht durch physicalische Elasticität bewirkt werden, durch Zusammenziehungen von Faserlagen hervorgebracht. Die Wimperbewegung ist ein in Hinsicht seiner Verbreitung viel beschränkteres Phänomen. Es wird nicht allein nur auf der Oberfläche von Membranen beobachtet, auch nur wenige Membranen zeigen diese Erscheinung, wie bei den niederen Thieren öfter die äussere schleimabsondernde Haut, bei den höheren die Schleimhäute im Innern des Körpers; ja sie ist nicht einmal allen Schleimhäuten gemein. Die Ausbreitung des contractilen Fasergebildes, namentlich des Muskelgewebes, bildet drei Schichten, deren Anordnung mit der ersten Formation des Organismus zusammenhängt. Alle Systeme entstehen nämlich aus den Blättern der Keimhaut, die anfangs scheibenförmig den Dotter bedeckt; und indem sich das äussere und innere Blatt, oder das seröse und Schleimblatt und das zwischen beiden sich bildende Gefässblatt der Keimhaut zu einer Höhlung wölben und der Embryonaltheil der Keimhaut, diese Höhlung bildend, von der übrigen Keimhaut durch Einschnürung in der Gegend des spätern Nabels sich absondert, entstehet aus dem äusseren Blatte der animalische willkührlich bewegliche, aus dem inneren der organische unwillkührlich bewegliche Theil des Körpers, aus dem Gefässblatte das Herz mit allen zum Blutgefässsystem gehörenden Theilen, welche später sich in die Bildungen des äusseren und inneren Blattes verzweigen. Der animalische Theil des Leibes, ursprünglich aus dem äusseren Blatte der Keimhaut entwachsen, sondert sich wieder in die verschiedenen Formationen des animalischen Nervensystems, des Knochensystems, des willkührlichen Muskelsystems und der äussern Haut. Der organische Theil des Leibes, ursprünglich aus dem innern Blatte der Keimhaut entsprossen, sondert sich wieder in die verschiedenen Formationen, die dazu gehören, als da sind die das Gerüst bildenden fibrösen Häute (tunica fibrosa des Darmschlauches, tunica nervea der Alten), die serösen Häute, die Schleimhäute, welche letztern die innere Grenze mit der Aussenwelt communicirender Schläuche bilden, die Muskelschicht, zwischen Tunica fibrosa und der serösen Haut, und das organische Nervensystem. Siehe v. Baer *Entwickelungsgeschichte. Scholien.* Zu diesem organischen Theil des Leibes gehören dann der Tractus intestinalis, die Harnwerkzeuge und Geschlechtstheile, an deren Schläuchen fast durchgängig wieder eine Muskelschicht vorkömmt. Ueberall, wo an diesen Schläuchen Bewegungen vorkommen, geschieht es durch die blosse Muskelschicht des organischen Systems, wovon indess die willkührlich beweglichen eigentlichen Schlundmuskeln und die Dammmuskeln ausgeschlossen sind, welche dem animalischen Theil des Leibes angehören; auch an den Ausführungsgängen der dem organischen System adnexen Drüsen setzt sich eine musculöse Schicht als Fortsetzung der Muskelschicht jener Schläuche fort; und wenn auch wegen der Zart-

heit der Theile das Muskelgewebe an diesen Gängen noch nicht so sicher wie andere Hautfortsetzungen hat anatomisch nachgewiesen werden können, so ist es gleichwohl gewiss vorhanden, weil der gemeinschaftliche Gallengang, die Ureteren, die Samengänge theils selbstständig, theils auf angebrachte Reize sich zusammenziehen, wie früher Bd. I. p. 457. bewiesen worden. In der That bilden sich auch die Ausführungsgänge und ihre Drüsen bei der ersten Formation aus den Wänden der Schläuche hervor, in welche sie ausmünden, was wenigstens von den drüsigen Apparaten des Tractus intestinalis bestimmt erwiesen ist. Siehe Bd. I. p. 863. Die Muskeln des animalischen Leibes unterscheiden sich nicht allein durch ihre willkührliche Bewegung und ihre Röthe und Derbheit von den blassen und unwillkührlich beweglichen Muskelschichten des organischen Leibes; auch die mikroskopische Structur derselben ist ganz verschieden. Wir werden später sehen, dass nur die Muskelbündel des animalischen Systems, unter dem Mikroskop untersucht, Querstreifen zeigen, dass die Primitivfasern dieser Muskeln regelmässige, dicht auf einander folgende varicöse Anschwellungen haben, während die Muskelbündel des Tractus intestinalis, der Urinblase, des Uterus von jenen Querstreifen entblösst sind und ihre Primitivfasern ganz gleichförmige Fäden bilden. Am Oesophagus grenzen beiderlei Systeme dicht an einander, die Muskeln des Pharynx gehören dem animalischen Systeme, die des Oesophagus schon dem organischen Systeme an; erstere zeigen die mikroskopischen Querstreifen und ihre Primitivfasern sind varicös, letztere haben keine Querstreifen und ihre Fasern sind gleichförmig; aber das erste Viertel des eigentlichen Oesophagus ist noch bis zu einer scharfen Grenze mit bogenförmig herab- und aufsteigenden Bündeln varicöser Fasern belegt, die Schwann entdeckt hat und welche, zum Apparat der eigentlichen Schlundmuskeln gehörend, an der übrigen Speiseröhre nicht vorkommen. Am After grenzt das animalische System der Dammmuskeln mit dem Sphincter ani an das organische System des Tractus intestinalis. Dasselbe findet an der Urinblase statt. Denn die um die pars membranacea der Harnröhre gehenden rothen Muskelbündel enthalten nach meiner Beobachtung Querstreifen, und ihre Primitivfasern sind varicös, die Muskelfasern der Harnröhre sind blass, ohne Querstreifen, und ihre Primitivfasern denen des Darmkanals gleich.

Aus dem mittlern Blatte der Keimhaut bildet sich der Apparat des Gefässsystems mit dem Herzen aus. Diese Schicht, welche sich später in die übrigen verzweigt, ist nur an einzelnen Stellen mit contractilen Fasern belegt, wie am Herzen, am Anfang der Hohlvene und Lungenvene (siehe Bd. I. p. 153.) und an den Lymphherzen der Amphibien (siehe Bd. I. p. 258.). Alle übrigen Theile des Gefässsystems sind ohne Muskelfasern, aber das ganze Arteriensystem enthält in seiner mittlern Haut einen höchst elastischen Apparat, dessen ausserordentliche Elasticität mit der lebendigen Zusammenziehungskraft der Muskeln nicht verwechselt werden darf, da dies elastische Gewebe, wie alles übrige elastische Gewebe, selbst wenn es viele Jahre in Wein-

geist gelegen hat, seine physicalische Elasticität nicht verliert. Das in dem Gefässblatte der Keimhaut sich entwickelnde Muskelgewebe gehört, obgleich es sich nur unwillkührlich bewegt, so viel das Herz lehrt, nicht in eine Kategorie mit den übrigen unwillkührlichen Muskeln des organischen Leibes; es ist nicht allein roth, sondern auch ganz wie alle willkührlichen Muskeln des animalischen Leibes gebaut, d. h. seine Muskelbündel enthalten mikroskopische Querstreifen und seine Primitivfasern sind varicös.

Die Muskelfasern sind nicht die einzigen lebendig contractilen Fasern; es giebt noch eine ganz andere Art derselben, welche in Hinsicht ihrer mikroskopischen Form, so wie in Hinsicht ihrer chemischen Zusammensetzung mit den Zellgewebefasern übereinstimmen, in chemischer Hinsicht sich aber ganz vom Muskelgewebe entfernen. Die Theile, worin diess Gewebe vorkömmt, zeigen einen geringen und unmerklichen Grad von Contractilität, und Zuckungen, wie an den Muskeln, lassen sich an ihnen nicht hervorrufen; auch wirkt die Electricität nicht auf diese Theile zur Zusammenziehung, dagegen die Kälte und auch mechanische Reize die schwache Contractilität dieser Theile oft ziemlich schnell anregen. Als Beispiel kann hier vorläufig die Tunica dartos des Hodensackes angeführt werden; es gehören aber noch mehrere andere Theile hieher, von denen später im Einzelnen die Rede seyn wird. Vorläufig soll hier nur bemerkt werden, dass diese Art des contractilen Gewebes, welches nur eine geringe Verbreitung, nämlich theils in der Haut, theils an den kleinsten Arterien hat, so viel die Beschaffenheit der Tunica dartos lehrt, in chemischer Hinsicht ganz mit den beim Kochen Leim gebenden Körpern, nicht aber mit eiweissartigen Körpern, zu welchen beiderlei Arten der Muskeln gehören, übereinstimmt. Wie weit die unmerkliche Contractilität auch anderen Geweben zukomme, hat noch nicht genügend untersucht werden können, indem die Kleinheit der durch unmerkliche Contractilität oder Tonus bewirkten Resultate, überall wo die Phänomene weniger deutlich sind, der Untersuchung unüberwindliche Schwierigkeiten setzt. Es scheint indess, dass, gleichwie die Fähigkeit, gegen arzneiliche chemische Einwirkungen ihre Cohärenz zu verändern, den wenigsten zellgewebehaltigen Geweben abgesprochen werden kann, einige Contractilität in sehr geringem Grade auch diesen Geweben zukomme. Während des Lebens lassen die für Flüssigkeiten durchdringlichen Membranen diese gleichwohl nicht durch; in Krankheiten erscheint dieser Widerstand oft aufgehoben, und nach dem Tode geschieht es immer. Unsere Begriffe von vermehrter Laxität der Gewebe, von Adstringentia, setzen, insofern sie sich auf Thatsachen gründen, auch eine Variabilität des Vermögens voraus, dem passiven Durchdringen der Flüssigkeiten nach physicalischen Gesetzen das Gleichgewicht zu halten.

Die zweite fundamentale Art thierischer Bewegung durch freie Wimpern ist an dem animalischen und organischen Theil des Leibes auf gewissen Häuten beobachtet, und es ist einigermaassen wahrscheinlich, dass sie wenigstens bei einigen niederen Thieren auch in der Gefässschicht, nämlich im Innern der Gefässe an

den Wänden vorkomme. Am animalischen Theile des Leibes kömmt sie bei vielen niederen Thieren, nämlich auf der ganzen Oberfläche des Körpers vor. Bei höheren Thieren hat man sie auf der Oberfläche der Haut nur im Embryonenzustande derselben, wie bei Froschembryonen, und bei einigen auch im Larvenzustande, nämlich auch bei Froschlarven beobachtet. Im organischen Theile des Leibes erscheint sie an den Schleimhäuten (nicht an allen) und wird bis zum Menschen herauf leicht beobachtet, nachdem sie bei den höheren Wirbelthieren von Purkinje und Valentin entdeckt worden. In der Regel ist diess Phänomen nur an Schleimhäuten beobachtet, auch die äussere Haut der Froschlarven und der niederen Thiere gehört in diese Kategorie. Doch hat es Sharpey an den inneren Wänden der Cavität der Seesterne, welche ihre Eingeweide enthält, und zu welcher das Wasser Zugang hat, bei Aphrodite an der äusseren Oberfläche des Darms und seiner Blinddärmchen, und an den Wänden der Rückenzellen, in welchen die Blinddärme liegen, beobachtet, und es könnte wohl seyn, dass alle Bewegungen von Nahrungssäften, die man bei niederen Thieren ohne Herz und ohne deutliche Zusammenziehung der Gefässe beobachtet hat (siehe Bd. I. p. 154.), nur durch Wimperbewegung erfolgen, wie denn die Circularbewegung der Säfte in den Zellen mehrerer Pflanzen (Bd. I. p. 44.) auf dieselbe Art geschehen kann. Die hieher gehörigen Erscheinungen brauchen, da sie früher beschrieben sind, hier nicht wiederholt zu werden; es ist auch schon dort bemerkt worden, dass sie zur Erhärtung der Hypothese von einer freiwilligen Bewegung der Säfte durchaus nicht benutzt werden können. Die vorzüglichsten Schriften über die Wimperbewegung sind: Purkinje und Valentin in Mueller's *Archiv* I. 391. II. 159. Purkinje und Valentin *de phaenomeno generali et fundamentali motus vibratorii continui in membranis etc. Vratisl.* 1835. 4. Sharpey in *Edinb. med. Journ.* 34. und ein späterer Aufsatz in *Edinb. new phil. Journ.* 19. *N.* 37. *Jul.* 1835. Grant *Edinb. new phil. Journ.* 1826. *Isis* 1832. Froriep's *Not.* 1826. *N.* 329. *Isis* 1830. *Edinb. Journ. of sc. N.* 13. *Jul.* 1827.

II. Capitel. Von der Wimperbewegung.

Schon DeHeide, Leeuwenhoek, Baker, Swammerdam, Baster haben bei den Mollusken das Phänomen gekannt, dessen Ursachen in viel späterer Zeit aufgeklärt worden. De Heide, Leeuwenhoek kannten schon die Strömungen an den Kiemen der Muscheln, Swammerdam, Leeuwenhoek, Baster die Rotation des Embryos der Mollusken im Ei, welche von derselben Ursache herrührt. Die regelmässigen Strömungen an den Kiemen der Muscheln wurden in neuerer Zeit von Erman (*Abh. d. Acad. zu Berlin.* 1816. 1817.) und Sharpey a. a. O., die Rotationen des Embryos der Mollusken von Carus (*Nov. Act. N. C.* 16.) ausführlich beschrieben. Steinbuch hatte die Cilien an den Armen der Federbuschpolypen und auch Meyen sie beschrieben. Gruithuisen entdeckte sie an den Planarien und an einer Süsswasserschnecke.

(*Salzb. med. Z.* 1818. 4. 286. *Nov. Act. N. C.* 10.) und Grant hat sie zuerst als Ursache der Rotation der Embryonen der Mollusken im Ei und der Eier (wohl Embryonen) der Polypen entdeckt. Unter den übrigen Wirbellosen ist die Wimperbewegung von Ehrenberg in der ganzen Gruppe der Thiere, die er Turbellarien nannte (Gordius, Nemertes, Planaria etc.); auf der Oberfläche des Körpers und auch im Darm der Räderthiere und Naiden entdeckt. Derselbe berühmte Forscher hat die mannigfaltige Anordnung der Wimpern bei den Infusorien auf das trefflichste beschrieben. Die ersten Beobachtungen über das fragliche Phänomen an Wirbelthieren hat Steinbuch angestellt (siehe oben Bd. I. p. 298.); er entdeckte die Bewegung des Wassers um die Kiemen der Batrachier, kannte aber die Ursache nicht und suchte vergebens nach Wimpern. Gruithuisen entdeckte es am Schwanze der Froschlarven. Sharpey beschrieb dasselbe Phänomen nicht allein an den Kiemen dieser Thiere, sondern auch an der Oberfläche des Körpers; ähnliche Beobachtungen wurden an den Kiemen von Huschke, von Raspail und mir angestellt. Es blieb indess Purkinje und Valentin die grösste Entdeckung vorbehalten, dass das fragliche Phänomen nicht allein bei den Batrachiern, wie bei den Wirbellosen, von oscillirenden Wimpern herrührt, sondern dass es auch in den Schleimhäuten der Amphibien, Vögel und Säugethiere mit gleicher Lebendigkeit und von denselben Ursachen herrührend vorkömmt. Diese Entdeckung erschien zuerst in Mueller's *Archiv* 1834, und die Erscheinung wurde darauf in dem grössern Werke: *de phaenomeno generali et fundamentali etc. Vratisl.* 1835. 4. in ganzer Vollständigkeit durch fast alle Thierklassen beschrieben. Bei den Fischen konnte sie bisher nicht gefunden werden. Sie ist aber dennoch vorhanden, wie ich finde. Die wichtigsten Thatsachen werde ich aus diesen Schriften nun ausziehen, und mit einigen Bemerkungen begleiten.

a. Vorkommen der Wimperbewegung.

Die Wimperbewegung ist bei verschiedenen Thieren an der äussern Haut, im Darmkanal, Athmungssystem und Geschlechtssystem beobachtet.

1. *Hautsystem.* Die Wimperbewegung der Haut zeigt sich bei Infusorien, Corallenthieren (Bryozoa im Gegensatz der Anthozoa Ehrenberg), Acalephen, am Mantel der Muscheln, auf der ganzen Oberfläche der Gasteropoden, sowohl der Land- als Wasserschnecken, und der Turbellarien von Ehrenberg. Unter den höheren Thieren kömmt die Wimperbewegung auf der Oberfläche nur bei den Embryonen und ganz jungen Larven der Batrachier vor. Ganz zu Anfang flimmert ihre ganze Körperoberfläche, wie Sharpey, Purkinje und Valentin fanden, später aber zieht sich diess Phänomen auf einen immer kleinern Theil der Oberfläche zurück, so dass nur die Basis des Schwanzes, die Seiten des Kopfes flimmern. Nach der Bildung der Extremitäten zeigt sich auf der Oberfläche ihres Körpers keine Wimperbewegung mehr.

2. *Darmkanal.* Bei den Amphibien kömmt die Wimperbewegung nur im obern Theile des Verdauungsschlauches vor, wie Purkinje und Valentin entdeckt haben. Nämlich die innere Haut des ganzen Mundes, der Tuba Eustachii und des Pharynx flimmert, bei den Schildkröten und Schlangen auch die Speiseröhre bis auf eine Grenze. Die Wimperbewegung hört nach Purkinje und Valentin im Oesophagus der Schlangen da auf, wo die erhobenen Längenfalten der innern Haut den Magen anzeigen; auch bei den Schildkröten hört diese Bewegung am Magen mit scharfer Grenze auf. Bei den Säugethieren und Vögeln flimmert dagegen die Mundhöhle, der Schlund und die Speiseröhre nicht.

Bei den Mollusken hingegen flimmert nach Purkinje und Valentin die innere Fläche des ganzen Darmkanals, ja selbst die Gallengänge; bei den Räderthieren und Naiden ist diess Phänomen auf der innern Fläche des Darms schon von Ehrenberg beobachtet, und Sharpey hat es im Magen und in den Blinddärmen der Seesterne, im Darm der Anneliden, im Magen der Actinien gesehen, und die im Verdauungsschlauch der Polypen von Meyen und Lister beobachteten Bewegungen der Körnchen gehören wohl auch hieher. Lister, *Philos. Transact.* 1834.

3. *Athmungsorgane.* Die Schleimhaut des Kehlkopfes, der Luftröhre, der Bronchien flimmert nach Purkinje und Valentin's Entdeckung bei allen luftathmenden Wirbelthieren. Bei den Säugethieren und Vögeln beginnt die Bewegung an der Stimmritze, da die Mundhöhle und der Schlund keine Spur davon zeigen. Bei den Vögeln zeigt sich das Phänomen nicht bloss auf der innern Fläche der Luftröhre und ihren Aesten, sondern nach Purkinje's und Valentin's Entdeckung auch auf der innern Fläche der von den Lungen ausgehenden Luftsäcke. Die äusseren Kiemen der Larven der nackten Amphibien flimmern, aber nur die äusseren Kiemen; die inneren Kiemen der Froschlarven, welche sie allein im zweiten Stadium der Entwickelung zeigen, flimmern nicht, wie bereits Sharpey fand. Auch bei den Fischen flimmern die Kiemen nicht, was bereits Sharpey fand. An den äussern Kiemen der Embryonen der Haifische und Rochen kann man die Bewegung vermuthen.

An den Kiemen der Mollusken, auch an den Nebenkiemen der zweischaligen Muscheln ist die Bewegung allgemein. Dagegen zeigt sich das Flimmern auf der innern Fläche der Lungen der Lungenschnecken nach Purkinje's und Valentin's Beobachtungen nicht. Auch die Kiemen der eigentlichen Krebse zeigen nach denselben Beobachtern keine Spur der Bewegung. An den Armen der Federbuschpolypen sah schon Steinbuch die Bewegung, an den Kiemen der Sabellen sahen sie Henle und ich.

4. *Nasenhöhle.* In der Nasenhöhle ist das Phänomen allgemein und von Purkinje und Valentin entdeckt. Nicht bloss die Nasenhöhle der Amphibien, Vögel, Säugethiere flimmert auf ihrer äusseren und inneren Wand. Purkinje und Valentin haben die

Erscheinung auch an der Schleimhaut der Nebenhöhlen der Nase der Säugethiere, wie der Stirnhöhlen, Kieferhöhlen und in der Eustachischen Trompete beobachtet. Im Thränenkanal und Thränensack des Kaninchens scheint keine Wimperbewegung vorzukommen, dagegen die Schleimhaut der Nase sie zeigt; auch die Conjunctiva flimmert nicht. Diess ist allerdings gegen Erwartung, da die Wimperbewegung, wenn sie an der Conjunctiva oder auch nur an den Thränenkanälchen und im Thränensack vorkäme, leicht die Aufnahme der Thränen in die Thränenkanälchen erklären würde. Die Nasenhöhle der Fische zeigt auch die Wimperbewegung sehr deutlich.

5. *Geschlechtstheile.* Unter den Wirbelthieren kömmt die Wimperbewegung bloss an den weiblichen Geschlechtstheilen vor, wie Purkinje und Valentin entdeckt haben. Sie erscheint an der innern Fläche der Eierleiter, des Uterus und der Scheide der Säugethiere (nicht bei den jüngeren); sie fehlt selbst nicht zur Zeit der Schwangerschaft an dem vom Chorion freien Theilen des Uterus. Bei den Vögeln und Amphibien ist die Bewegung auch bis zum Ende der Tuben vorhanden. Ich habe das Phänomen selbst sowohl bei Säugethieren, als Vögeln und Amphibien gesehen. Vielleicht hat die Wimperbewegung an der Abdominalmündung der Trompete Antheil an der Aufnahme des Eies in die Tuba bei den Amphibien; es ist bekanntlich bis jetzt noch ganz räthselhaft, wie beim Frosch und Salamander die Eier von dem Ovarium in die viel höher gelegene Abdominalöffnung der Tuba gelangen, welche den Eierstock bei diesen Thieren nicht umfassen kann. Es wäre indess möglich, dass sich zu jenem Zweck auch die Schleimhaut des Eierleiters am Abdominalende ausstülpte und die flimmernde Oberfläche dem Ovarium oder den in die Bauchhöhle fallenden Eiern zukehrte. Bei den Fischen kommt die Wimperbewegung auch in den weiblichen Geschlechtstheilen vor; nämlich auf der innern Fläche des aus dem Eierstock ausführenden Eierleiters, wie beim Karpfen, und sehr deutlich bis zur Geschlechtsmündung.

Bei den Mollusken fand Henle die Flimmerbewegung in den weiblichen Geschlechtstheilen deutlich, nämlich im Eierstocke der Schnecken nach Cuvier, und auf der innern Fläche der Höhlungen des Eierstocks der Muscheln. Die männlichen Geschlechtstheile flimmern bei den Wirbelthieren nicht; auch bei den Wirbellosen ist die Bewegung noch nicht mit Sicherheit in definitiv männlichen Geschlechtstheilen beobachtet.

6. *Harnwerkzeuge.* Bei den Wirbelthieren fehlt die Flimmerbewegung in den Harnwerkzeugen ganz. Dagegen kommt sie, nach Purkinje und Valentin, im sogenannten Saccus calcareus der Schnecken vor, einem Organ, dessen Ausführungsgang sich neben dem After mündet, und das man wegen seines harnsauren Inhalts für die Niere dieser Thiere halten kann. Die Bewegung ist hier auch von Henle gesehen. Bei den zweischaligen Muscheln flim-

mert, nach PURKINJE und VALENTIN die innere Oberfläche des neben der Oeffnung der Eierstöcke ausmündenden BOJANUS'schen sackförmigen Organes, welches von Einigen mit der Niere verglichen wird, das aber zugleich auch als Hoden betrachtet werden könnte, so lange nicht ein anderes Organ als Hoden der Muscheln definitiv nachgewiesen werden kann.

Man sieht aus dieser Uebersicht, dass die Wimperbewegung ein allgemeines Phänomen der Thierwelt ist, dass sie aber eine verschiedene Ausbreitung in den verschiedenen Classen hat. Am seltensten ist sie über die ganze Oberfläche des Körpers verbreitet, wie bei den Mollusken, Turbellarien und bei dem Embryo und der ganz jungen Larve der Batrachier. Constant ist sie an den Geruchswerkzeugen bei Wasser- und Luftathmern und an den weiblichen Genitalien, meist an den Athemwerkzeugen, mit Ausnahme der Fischkiemen und der inneren Kiemen der Froschlarven, selten im Darmschlauch, wie bei den Mollusken, in der Speiseröhre und im Munde der Amphibien; sie fehlt in den Harnwerkzeugen und männlichen Geschlechtstheilen der Wirbelthiere. Keine einzige Thierclasse ist des Antheils der Wimperbewegung ganz beraubt. PURKINJE und VALENTIN glaubten es von den Fischen, aber sie entbehren sie so wenig als andere Classen; bei den Fischen fehlt sie an den Kiemen, aber sie ist sehr deutlich an der Schleimhaut der Nasenhöhle und weiblichen Geschlechtstheile.

Die Wimperbewegungen sind auch die Ursache der Bewegung der Embryonen im Ei bei mehreren Thieren, ja der freien Eier (richtiger Embryonen) bei mehreren niederen Thieren, Radiarien und Corallenthieren. CAVOLINI beobachtete die Bewegung der Eier der Gorgonien, TILESIUS die der Eier der Milleporen, GRANT die Bewegung der Eier der Campanularien, Gorgonien, Caryophyllien, Spongien und Plumularien. Die aus den Capseln entfernten Eier bewegen sich, mit dem einen Ende voran. RAPP fand die Cilien ebenfalls an den Eiern der Corynen. GRANT hat auch die Wimpern an den Embryonen der Gasteropoden entdeckt, welche die Ursache ihrer Rotation im Ei sind.

b. Phänomene der Wimperbewegung.

Die Wimperbewegung wird bei den meisten Thieren nur bei starker Vergrösserung erkannt. Von einer Schleimhaut, worin sie vorhanden ist, präparirt man ein ganz kleines Stückchen ab, befeuchtet es ein wenig mit Wasser und bedeckt es mit einem kleinen Glasplättchen, wodurch das Schleimhautstückchen ausgebreitet wird und seinen Rand scharf erkennen lässt. Mit den Objectivlinsen 1. 2. 3. der SCHIEK'schen Mikroskope erkennt man die Wimperbewegung sogleich am Rande. Man sieht anfangs den Ausdruck einer undulirenden Bewegung und wie die kleinen Partikelchen, die im Wasser schweben, Schleimkügelchen, am Rande in bestimmter Richtung vorbeigetrieben werden. Bei stärkerer Vergrösserung erkennt man zuweilen die Wimpern selbst, jedoch selten sehr deutlich, wegen der sehr schnellen Bewegung dersel-

ben. Oft ist der Effect der Bewegung zahlloser Bewegungsorgane so gross, dass man die Beobachtung beeilen muss, wenn das ganze Schleimhautstückchen nicht unter dem Sehfelde vorbeipassiren soll. Den Einfluss der Wimperbewegung auf die Forttreibung der die Wände berührenden Flüssigkeiten und kleinen Körperchen kann man auch sehr gut an aufgestreutem feinen Pulver erkennen. An den Kiemen der Salamanderlarven und Muscheln ist die Bewegung so stark, dass abgeschnittene kleine Theilchen derselben im Wasser selbst regelmässig herumgetrieben werden.

Durch die gleichförmige Richtung der Bewegung der Wimpern entstehen nun an den Schleimhäuten regelmässige Strömungen, die an den meisten Theilen bereits durch Sharpey's, Purkinje's und Valentin's Bemühungen bekannt sind. Die Strömungen des Wassers, welche auf diese Art an den Kiemen der Muscheln und Salamanderlarven und am Körper der jungen Froschlarven hervorgebracht werden, sind schon im ersten Bande p. 298. beschrieben worden. Die Direction der Strömung war in Purkinje's und Valentin's Beobachtungen bei einer Henne in der Luftröhre von aussen nach innen, im Eierleiter von innen nach aussen; dass der Samen durch die Wimperbewegung zum Ei gelange, lässt sich daher mehr vermuthen als erweisen. Sharpey bestimmte die Strömung auf der untern Muschel des Kaninchens; sie war von hinten nach vorn gegen die Nasenöffnung, in der Kieferhöhle schien die Direction der Strömung nach der Oeffnung derselben zu gehen. In der Mundhöhle der Batrachier geht die Strömung von vorn nach hinten, sowohl an der obern als untern Fläche gegen den Oesophagus. An der Gaumenseite der Nasengaumenöffnung einer Eidechse wurden die Partikelchen an der innern Seite in die Oeffnung, an der äussern Seite aus der Oeffnung geführt. Bei der Kröte hat Sharpey die Direction so abgebildet, als wenn die Strömungen sowohl an der äussern als innern Seite der Nasengaumöffnung bloss aus der Nase in den Mund stattfinden.

c. Organe der Wimperbewegung.

Was die Organe der Wimperbewegung betrifft, so sind sie nach Purkinje's und Valentin's Untersuchungen feine durchsichtige Fäden und haben eine Länge von 0,000075—000908 par. Zoll. Ihre Basis ist meist stärker als ihr Ende, so sah ich sie auch meist an Schleimhäuten. An den Kiemen einer Sabella verwandten neuen Gattung der Anneliden aus der Ostsee sah ich sie mehr kolbig. Die Form der Wimpern ist überaus schwer zu bestimmen, ihr Daseyn ziemlich leicht zu sehen. Ich habe sie bei Anodonten, an den Kiemen jener Annelide, im Munde der Frösche, Eierleiter der Kaninchen und Frösche, Fische, in der Luftröhre der Vögel und Säugethiere sehr deutlich gesehen, und kann mir nicht erklären, warum L. Chr. Treviranus sie nicht hat finden können. Die Oberfläche der Häute, in welchen Wimperbewegungen vorkommen, zeigte sich nach Purkinje und Valentin aus mikroskopischen geraden parallelen Fasern zu-

sammengesetzt, die durch Bindestoff vereinigt waren. Doch fand sich eine solche Schicht von Fasern auch in der nicht vibrirenden Schleimhaut des Leerdarms der Schildkröte. Verstehen wir die Verfasser recht, so sind diese Fasern auf der Ebene der Schleimhaut senkrecht oder aufrecht stehende Cylinderchen. Dergleichen mikroskopische Cylinderchen finden sich nach Henle's Beobachtung sehr häufig und fast in der Regel in der Galle des Menschen und häufig auch bei den Thieren. Sie liegen meist zu kleinen Schichten zusammen, so dass man an der einen Seite des Häufchens die Enden derselben in einer Ebene sieht. Diese Cylinderchen in der Galle haben nach Henle 0,0171 engl. Lin. Länge und 0,0031 Breite; sie sind viel grösser als die Cilien der Schleimhäute, und sollten in den vibrirenden Schleimhäuten die Wimpern auf diesen Cylinderchen stehen, so müssten viele von einem Cylinder getragen werden. Henle hat auch einmal dergleichen Körperchen in der Harnblase angetroffen, und es ist mehr als wahrscheinlich, dass es die Theile sind, welche Purkinje und Valentin meinen. Henle hat bei der Auster abgelöste Cilien untersucht, und sie so gebildet gesehen, dass auf dem Ende eines kleinen Cylinders ein oder mehrere Wimperhaare aufsassen. Einigemal wurde in dem Basaltheile gegen die Stelle, wo die Wimper damit in Verbindung stand, ein Kügelchen beobachtet. Gruithuisen hat die Wimpern der Planarien auch im abgelösten Zustande beobachtet, und gesehen, dass sie, wo die Thiere zerfliessen, sich noch bewegen. Am genauesten sind die Wimpern von den Infusorien durch Ehrenberg's Untersuchungen bekannt. Er sah bei den grossen Gattungen Stylonychia und Kerona die Basis jedes wirbelnden Härchens zwiebelförmig, und hat sich überzeugt, dass eine geringe schwankende Drehung der Zwiebel auf ihrem Stützpunkte grössere kreisförmige Schwingungen der Spitze der Härchen veranlasst, wodurch jedes dieser Härchen bei der Bewegung eine conische Fläche beschreibt, deren Spitze die Zwiebel ist. Bei den Magenthierchen sah Ehrenberg die Wimpern oft über den ganzen Körper verbreitet, zuweilen fehlen sie, zuweilen ist nur der Mund damit umstellt. Wenn der ganze Körper behaart erscheint, fand sie Ehrenberg sehr regelmässig vertheilt; sie stehen nämlich in deutlichen Reihen, die gewöhnlich eine Längsrichtung, oft aber auch eine Querrichtung haben. Solche reihenweise Vertheilung haben auch Purkinje und Valentin einigemal beobachtet, und sie wird auch aus der von Purkinje und Valentin beobachteten wellenförmigen Bewegung der Wimperreihen wahrscheinlich. Ehrenberg vermuthet kleine Längen- und Quermuskeln. Die Räderorgane der Räderthiere sind nach Ehrenberg's Beobachtungen nicht wesentlich von den Wimperorganen verschieden. Hydatina senta hat 17 Räderorgane im Kreise, jedes besteht aus 6 Wimpern, die auf einem rundlichen Muskel aufsitzen. Diese Muskeln sind von Scheiden umgeben und durch 2 Bänderfascikel an 2 Stellen der Körperhülle befestigt. *Abhandlungen der Academie zu Berlin*. 1830. Das Räderorgan dieser Thiere zerfällt daher in mehrere von einander abgeschlossene Räderorgane, es bringt auch die Täuschung der Radbewegung

nicht hervor, wie bei den Räderthieren mit zusammenhängenden Räderorganen. In der zweiten Abhandlung (1831) werden viele Variationen in der Bildung der Räderorgane nachgewiesen.

d. Natur der Wimperbewegung.

Bei der Untersuchung der Natur der Wimperbewegung kömmt zuerst ihre Dauer und ihr Zusammenhang mit den übrigen Lebensphänomenen zur Sprache. Die Dauer derselben nach dem Tode ist wenigstens so lange, als die Reizbarkeit der thierischen Theile dauert, und oft viel länger. Bei Fröschen und Eidechsen hört sie nach Purkinje's und Valentin's Beobachtungen in 1—2 Stunden auf, bei einer geköpften Emys europaea dauerte sie 9—15 Tage nach der Entfernung des Kopfes. Es behielten zwar die Muskeln bis zum 7ten Tage ihre Reizbarkeit (wir haben bei einer Flussschildkröte mehrere Tage nach der Durchschneidung des verlängerten Markes noch die Reflexionsbewegung, Einziehung der Extremitäten bei der Berührung, gesehen), aber die Wimperbewegungen dauerten eben so lange in ganz getrennten, in Wasser liegenden Theilen. Bei den Vögeln und Säugethieren dauern die Bewegungen nach Purkinje und Valentin $\frac{3}{4}$—4 Stunden. Das Licht hat keinen, wohl aber die Wärme Einfluss auf die Wimperbewegungen; sie dauern bei Säugethieren und Vögeln noch, wenn auch die Theile einen Moment in Wasser von 65° R. getaucht werden, wenn länger, nicht. Die Bewegungen bleiben bei Säugethieren und Vögeln bei 10° R., hören bei 5° auf. Der Schlag einer Leidener Flasche hebt die Bewegung bei Unio nicht auf, auch der Einfluss einer galvanischen Säule von 30 Plattenpaaren nicht, ausser an den Stellen der Application der Poldrähte, wo das Aufhören von der chemischen Zersetzung bewirkt wurde. Die Wimperbewegungen werden durch Blausäure, Aloe- und Belladonna-Extract, Catechu, Moschus, Morphium aceticum, Opium, Salicin, Strychnin, Decoct. capsic. ann., selbst bei den concentrirtesten Lösungen nicht gestört. Die Alcalisalze, Erd- und Metallsalze, Alcalien, Säuren stören die Bewegung bald früher, bald später, nach der Stärke der Solution; Blut unterhält die Wimperbewegung am längsten, aber Blutserum von Wirbelthieren macht die Wimperbewegung der Muscheln sogleich aufhörend und Galle zerstört die Bewegung. Am merkwürdigsten ist, dass diejenigen Stoffe, welche auf das Nervensystem wirken, wie die Narcotica, die Wimperbewegung durchaus nicht stören, wodurch diese Erscheinung sich als eine fundamentale und nicht vom Nervensystem abhängige erweist. Purkinje und Valentin haben Tauben und Kaninchen vermittelst Blausäure und Strychnin, theils durch Einflössen in den Schlund, theils durch Application dieser Stoffe in frische Hautwunden, getödtet. Nie zeigte sich die Flimmerbewegung im mindesten verändert. Sie gebrauchten die Vorsicht, dass sie die Thiere nicht nur nicht früher öffneten, als bis keine Zuckungen an irgend einem Theile des Körpers mehr wahrgenommen wurden, sondern bis selbst die gezerrten Glieder keine Reaction

durch automatische Bewegungen mehr ausübten. Um um noch sicherer zu sein, wurde bei den Experimenten mit den Tauben ein gleiches Thier desselben Alters durch Verblutung getödtet. Die Unterschiede, welche sich bei allen diesen Versuchen vorfanden, waren nur Verschiedenheiten, welche durch die Individualität, das Alter und die Eigenthümlichkeiten der Thiere bedingt wurden. Der Mangel des Erfolges der Intoxication war überall derselbe. MUELLER's *Archiv.* 1835. 159. Die letzteren Versuche sind offenbar weniger beweisend als die ersteren mit unmittelbaren Application der Gifte auf die flimmernden Theile. Denn durch Narcotica getödtete Frösche behalten ihre Muskel- und Nervenreizbarkeit für örtlich applicirte Reize noch lange, dagegen verlieren die Nerven und Muskeln bei örtlicher Application eines narcotischen Giftes auf dieselben, an dieser Stelle immer bald ihre Reizbarkeit. Nur das Herz macht davon eine Ausnahme, welches nach Anwendung von Opiumauflösung und Extractum nucis vomicae auf seine äussere Oberfläche noch lange fortschlägt, während dasselbe Gift, auf die innere Fläche des Herzens applicirt, seine Reizbarkeit sogleich erschöpft. Wir halten die Kleinheit der Wimperorgane gegen die bedeutende Stärke der Primitivfasern in den Nerven für keinen Grund gegen die Abhängigkeit dieser Erscheinungen vom Nervensystem; denn die Muskelfasern sind an sich schon sehr viel feiner als die Nervenfasern, wie man sie gewöhnlich ununterbrochen in den Nerven sieht, und die Vertheilung der Nervenfasern in den Muskeln ist so sparsam, die Zwischenstellen der Muskeln zwischen dem Bereich mehrerer Nervenfasern an mikroskopisch untersuchten Muskeln so gross, dass das Phänomen der Nervenwirkung auf die Muskeln ohne eine Action in Distanz nicht denkbar ist. Zudem giebt es gewisse Theile (nicht eben die Muskeln), in welchen eine sehr viel feinere Verzweigung der Nervenfasern stattzufinden scheint, als wie die Primitivfasern der Nervenstämme und Aeste sind. Dr. SCHWANN hat im Mesenterium der Feuerkröte von den gewöhnlichen stärkeren Nervenfasern Fäden ausgehen gesehen und mir gezeigt, welche sich überaus fein verzweigten und in grosser Entfernung ganz kleine spindelförmige Anschwellungen zeigten (wahrscheinlich dem N. sympathicus angehörend). Die Dauer der Flimmerbewegung nach örtlicher Application narcotischer Gifte beweist indess hinlänglich die Eigenthümlichkeit dieses Phänomens, und dass es in keiner unmittelbaren Abhängigkeit vom Nervensystem steht. Eben so wichtig ist in dieser Hinsicht die Existenz der Wimperbewegung an der Oberfläche der Eier der Corallenthiere, welche ovale Körper indess wohl die belebten, aber noch unentwickelten Embryonen sind. Gerade die Untersuchung der Extreme ist hier am interessantesten. Die Extreme bilden aber die Wimperbewegung der unentwickelten Embryonen der Corallen und die Wimperbewegung an den Räderorganen der Räderthiere. Erstere erfolgt an Häuten, die noch keine besondere Structur zeigen, und an sie schliesst sich die Wimperbewegung an den Schleimhäuten der höheren Thiere an, die von Strychnin und anderen narcotischen Giften nicht getödtet

wird; die Wimperbewegung an den Räderorganen hingegen erfolgt durch offenbare Muskelaction und ist dem Willen unterworfen, also jedenfalls von dem Nervensystem abhängig; sie wird auch, wie EHRENBERG bewiesen, durch Strychnin getödtet.

Es entsteht nun die Frage: ist die Wimperbewegung in der ganzen Thierwelt auch durch muskelartige Zusammenziehungen eines sehr feinen contractilen Gewebes an der Basis der Wimpern, wie an den Räderorganen der Räderthiere bedingt? Bildet dieses contractile Gewebe der Räderorgane, das EHRENBERG entdeckt hat, ein eigenes System, dessen mikroskopische Structur sich bis durch die flimmernden Schleimhäute der höheren Thiere erstreckt, so dass, wenn die übrigen Gewebe der höheren Thiere eine gröbere Structur besitzen, die viel feinere Gewebebildung und Anatomie der Infusorien sich gleichwohl bei den höheren Thieren wenigstens in der Structur der Wimperorgane erhält; oder gehört nur die Bewegung der Räderorgane der Räderthierchen in eine Kategorie mit den Muskelbewegungen aller höheren Thiere, und ist die Wimperbewegung der übrigen Thiere ihrem Wesen nach ganz von der Muskelbewegung verschieden? Ich kann nicht umhin, in Hinsicht des Mechanismus der Wimperbewegung der Räderorgane EHRENBERG's eigene Worte hier anzuführen. „Betrachtet man Thierchen, wenn sie die Bewegung anfangen, so sieht man immer deutlich ein Ausstrecken und Anziehen, ein wahres Greifen der gekrümmten Wimpercilien, das aber alsbald in das Wirbeln übergeht, welches eine andere Art von Bewegung ist als jenes Greifen. Das Greifen sieht man auch, wenn man die Thierchen durch Streuen von Strychnin in Wasser im Tetanus sterben lässt und die Thätigkeit der Räderorgane allmählig erlöscht. In diesem Falle hört vorher schon das eigentlich radmachende Wirbeln auf." EHRENBERG suchte sich die Erscheinung bisher auf folgende Weise zu erklären: „Jede einzelne Wimper wird durch den unter ihr liegenden Muskel besonders bewegt, und leicht können einzelne Muskelstreifen an viele, vielleicht alle Wimpern derselben Reihe gleichzeitig gehen und dieselben in eine einseitige Bewegung setzen. Wirkt nun diesem Muskelstreifen ein anderer, auf der andern Seite der verdickten Basis der Härchen auf gleiche Weise entgegen, sind dieselben in etwas verschiedener Höhe den Härchen angeheftet, und wirken sie abwechselnd, so wird eine nach vier Richtungen schwankende Bewegung entstehen, welche die Spitze jeder einzelnen Wimper in eine Kreisbewegung versetzt, und die ganze Spitze wird einen Kegel beschreiben, dessen Spitze an deren Basis ist. Bei dieser Bewegung der einzelnen Wimpern sind sie, wenn man die Organe etwas oder ganz von der Seite betrachtet, bald dem Auge etwas näher, bald etwas ferner, und werden mithin bald etwas deutlicher, bald etwas undeutlicher an sich erkannt. Diese Abwechselung der Deutlichkeit des Wahrnehmens der einzelnen Wimpern bei ihrer conischen Kreisbewegung erscheint mir, sagt EHRENBERG, als die Ursache des Radförmigen im Ganzen, denn jedenfalls muss dadurch eine Täu-

sehung, eine gewisse scheinbare Lebendigkeit, in den ganzen Kreis kommen." Dass durch die von Ehrenberg supponirte Thätigkeit der Muskeln ein kegelförmiger Raum von der Wimper umschrieben werden müsse, lässt sich sehr gut an den Augenmuskeln der höheren Thiere erläutern, wovon die geraden in der That das Auge gleichwie auf einem Stiele auf diese Art bewegen können. In der That ist es bei dem willkührlichen Einfluss der Räderthiere auf ihre Räderorgane, und bei dem von Ehrenberg nachgewiesenen Muskelapparat kaum zu bezweifeln, dass diese Art von Bewegung in die Kategorie der wahren Muskelbewegungen gehöre. Wie verhält es sich aber mit den Wimperbewegungen der Schleimhäute, die von dem Willen nicht abhängig sind und von der narcotischen Vergiftung der Thiere nicht modificirt werden? Das Strychnin bringt die Räderorgane nach Ehrenberg's Beobachtungen zur Ruhe, dasselbe hat, wie alle übrigen Narcotica, auf die Wimperbewegungen der Schleimhäute keinen Einfluss. Wie soll man ferner erklären, dass die Wimperbewegung an den Eiern der Corallen vorkommt? Haben diese noch einen Rest von Lebensenergie von der Zeit her, wo sie dem Lebenseinflusse des Eierstocks ausgesetzt waren; und behalten sie ihn und äussern ihn eine Zeit lang, wie die abgeschnittenen Schleimhautstückchen der höheren Thiere? Gehören ihre Lebenserscheinungen in eine Reihe mit den Bewegungen der Eierbehälter der Cercarien, die Bojanus und v. Baer beobachtet haben? Siehe oben Bd. I. p. 17. Viel wahrscheinlicher sieht man diese Eier als belebte, aber noch unentwickelte Embryonen an. Jedenfalls, scheint es uns, ist es nöthig, die Wimperbewegungen an den Räderorganen der Räderthiere von den Wimperbewegungen der Schleimhäute vorläufig zu trennen. Die ersteren sind willkührlich veränderlich, die letzteren dem Einflusse des Willens, ja dem directen Einflusse des Nervensystems entzogene Erscheinungen. Bei den Räderorganen ist die Wimper, wie es scheint, passives Bewegungsorgan, das active der musculöse Apparat. Bei den Wimperbewegungen der Schleimhäute und auch denen der Oberfläche des Körpers der Infusorien sind die Muskeln noch unbekannt; noch weiss man nicht, ob die Wimper selbst sich bewegt, krümmt, oder ob sie auch bloss als Ruder wirkt und das contractile Gewebe an ihrer Basis ist. Meyen hat die abgelösten Wimpern der Leucophrys sol sich noch bewegen gesehen. Auf der andern Seite giebt es wieder bei den Thieren noch andere, wie Ruder wirkende Organe, die in ihren unwillkührlichen, unaufhörlich wirkenden Bewegungen eine grosse Aehnlichkeit mit Wimpern haben, und doch durch ihre Gestalt sich davon entfernen, und deren Bewegung kaum anders, als durch contractiles Gewebe an ihrer Basis erklärt werden kann. Die Beroen sind nach Grant's Beobachtungen vom Munde bis zum After mit Bändern wie von Meridianlinien besetzt. Jedes der Bänder ist mit 40 Plättchen besetzt; diese Plättchen sind die zur Bewegung bestimmten Cilien. Die Plättchen bestehen aus parallelen Fasern, welche durch eine Haut verbunden sind. Ja selbst die gewiss nur durch Muskeln beweglichen, beständig schlagenden, grossen, mit blossen Augen sehr

gut sichtbaren Plättchen am Unterleibe der Gammarus pulex und anderen niederen Crustaceen müssen hieher gezogen werden, wenn die Bewegungen dieser Organe auch durch Muskeln, durch ein anderes contractiles Gewebe bewirkt werden mögen als die Wimperbewegungen der Schleimhäute. Bis jetzt lässt sich nur so viel aufstellen:

1. dass die Wimperbewegung der Schleimhäute durch irgend ein noch unbekanntes contractiles Gewebe bedingt werden, welches

2. entweder in der Substanz der Wimpern oder an ihrer Basis liegt;

3. welches durch seine Contractilität im Allgemeinen mit dem Muskelgewebe und anderen contractilen Geweben der Thiere übereinstimmt;

4. dessen Eigenschaften darin mit dem Muskelgewebe wenigstens der unwillkührlichen Muskeln des Herzens, den Muskeln der schwingenden Blätter der Crustaceen übereinstimmen, dass sie fast unaufhörlich sich mit gleichem Rhythmus wiederholen;

5. dessen Eigenschaften darin dem Muskelgewebe des Herzens gleichen, dass sie sich auch nach der Absonderung des Theiles vom Ganzen noch lange äussern;

6. welches sich aber vom Muskelgewebe wesentlich darin unterscheidet, dass die Bewegungen von der örtlichen Application der Narcotica nicht aufgehoben werden,

7. und dass die Wimperbewegung unter Umständen vorkömmt (an den unentwickelten Embryonen der Corallen), wo eine zusammengesetzte Organisation unwahrscheinlich ist.

Darin, dass die Nerven bei dem Phänomen der Wimperbewegung nicht unmittelbar mitwirken, gleichen diese Bewegungen den Oscillationen gewisser Pflanzen, namentlich der Oscillatorien. Wie weit diese Vergleichung richtig ist, kann sich erst aus weiteren Untersuchungen ergeben. Wie sich diess aber verhalten mag, jedenfalls giebt es in den flimmernden Schleimhäuten ein Agens, welches auch die Thätigkeit dieser mikroskopischen Organe beherrscht, indem die Wimpern so häufig in Reihen wirkend beobachtet werden. Es wirkt hier eine Kraft, welche über die Selbstständigkeit einer einzelnen Wimper hinausgeht, und wenn man auch dieses reihenweise Wirken, diese Wellen aus der Befestigung vieler Wimpern an einem contractilen Streifen erklären könnte, so zeigt sich doch oft ein gewisses Abnehmen und Zunehmen in der Lebenskraft grosser Strecken einer wimpernden Haut, welches allgemeinere Ursachen haben muss. Ich habe an den Kiemen einer neuen, Sabella verwandten Gattung von Anneliden, die ich in grosser Menge im Meerwasser von Copenhagen mitgebracht, unter dem Mikroskope zuweilen ganz grosse Strecken der Wimpern lange Zeit ganz ruhen und bald wieder thätig werden gesehen. Erscheinungen, wovon Analogien in der Pflanzenwelt oft genug vorkommen, und die daher nicht nothwendig von der Variabilität des Nerveneinflusses erklärt werden müssen.

Die Erklärung der Strömungen, welche durch die Wimper-

bewegung hervorgebracht werden, hat auch ihre grossen Schwierigkeiten. Eine blosse Schwingung der Wimpern von einer Seite zur andern kann keine Direction eines Fluidums bewirken. Auch die Bewegung einer Wimper in einem kegelförmigen Raume, wie PURKINJE und VALENTIN meist die Bewegung sahen, kann bloss einen Cirkel des Fluidums um die Wimper bewirken. Damit Wimperbewegungen eine Strömung in einer Richtung hervorbringen, ist es nöthig, dass die Wimpern nach einer Richtung schlagen und sich krümmen, wie PURKINJE und VALENTIN die Bewegung zuweilen, und wie ich sie in den meisten Fällen sah. Aber auch in diesem Falle entsteht nur eine Strömung, wenn die sich wieder aufrichtende Wimper beim Aufrichten mit kleinerer Fläche auf die Flüssigkeit wirkt, als beim Schlagen.

III. Capitel. Von der Muskelbewegung und den verwandten Bewegungen.

I. Von den contractilen Geweben.

Sieht man von dem bis jetzt noch nicht weiter bestimmbaren contractilen Gewebe ab, welches die Ursache der Wimperbewegungen ist, so kann man 4 Formen des contractilen Gewebes unterscheiden, das contractile Pflanzengewebe, das leimgebende contractile Gewebe der Thiere, das contractile Gewebe an den Arterien und das Muskelgewebe.

a. Vom contractilen Gewebe der Pflanzen.

Die wesentlichsten Phänomene der Pflanzenreizbarkeit sind bereits oben Bd. I. p. 40. erwähnt worden. Es handelt sich hier bloss um eine Vergleichung des contractilen Gewebes der Pflanzen und Thiere. DUTROCHET hat über diess Gewebe bei den Pflanzen in seinem Werke *Recherches anatom. et physiol. sur la structure intime des animaux et des végétaux. Paris* 1824, Aufschlüsse gegeben. Die Blätter der Mimosa sensitiva sind von einem langen Stiel getragen, an dessen Basis man einen den Stiel umgebenden länglichen Wulst bemerkt. In diesem Wulst liegt das Princip der Bewegung. Wird dieser Wulst der Länge nach durchschnitten und seine Durchschnitte untersucht, so sieht man mit dem Mikroskope, dass die Achse von den Röhren eingenommen ist, welche die Gefässcommunication des Blattes mit dem Stengel bewirken. Das Gewebe desselben besteht aus einer grossen Menge rundlicher durchsichtiger Zellen, deren Wände mit Kügelchen bedeckt sind. Dieser Bau weicht in einigen Punkten von dem Bau der Pflanze in den übrigen Theilen ab; das Mark der Sensitiva besteht aus Zellen, in welchen einige kleine Kügelchen enthalten sind; im jungen Zustande der Pflanze ist in den Markzellen eine durchsichtige Flüssigkeit enthalten, die von kalter Salpetersäure gerinnt, während das Gerinnsel von warmer Säure wieder aufgelöst wird. Die Markscheide besteht aus Tracheen. Die Holzschichte, welche die Markscheide bedeckt, besteht aus

den gewöhnlichen Holzfasern. Das Corticalsystem besteht wieder aus Holzfasern. Die Blätter der Sensitiva stehen auf einem langen Blattstiel, an dessen Basis der genannte Wulst liegt; ähnliche, aber kleinere Wülste befinden sich an der Insertion der Blättchen an dem obern Theile des Blattstieles. Diese Wülste sind die Ursache, dass die Blättchen sich am Blattstiel bewegen, und dass hinwieder der Blattstiel selbst sich gegen den Stengel bewegt. Der Wulst am Blattstiel enthält eine grosse Quantität von durchsichtigen kugeligen, von einander durch ansehnliche Zwischenräume getrennten Zellen, deren Wände mit kleinen Kügelchen bedeckt sind. Von Salpetersäure werden die Zellen opak. Diese Zellen gleichen darin den Zellen des Markes, aber sie sind rundlich und nicht wie jene sechseckig. Sie liegen, obgleich sie sich nicht berühren, in Reihen der Länge nach. Zwischen diesen runden Zellen liegt ein viel zarteres Zellgewebe, worin viele dunklere kleine Körperchen. Heisse Salpetersäure löst den Inhalt der kugeligen Zellen, gleichwie den Inhalt der Zellen des Markgewebes des Stengels. In der Achse des Wulstes verlaufen die Gefässbündel, welche den Blattstiel mit dem Stengel in Verbindung setzen. Der Blattstiel selbst enthält äusserlich Holzfasern, sie bilden die Rinde; im Innern befindet sich articulirtes Zellgewebe mit Kügelchen und grosse Körperchen enthaltende Röhren. Im Centrum des Blattstieles liegen Tracheen. Berührt man die Sensitiva oder erschüttert sie, so legen sich die kleinen Blättchen paarweise zusammen, wodurch sie sich ihrer gemeinschaftlichen Achse, derjenigen des Blattstieles, nähern. Der gemeinschaftliche Blattstiel hingegen bewegt sich durch seinen Wulst in entgegengesetzter Richtung nach abwärts gegen den Stengel. In der Ruhe erheben sich beide wieder in ihre natürliche Lage. Wenn sich der Blattstiel senkt, so bildet der im Zustande der Ruhe gerade längliche Wulst um die Basis des Blattstieles eine nach unten concave, nach oben convexe Krümmung.

Als Dutrochet das Cortical- oder Zellenparenchym eines Wulstes weggenommen, ohne das centrale Gefässbündel zu verletzen, starb das Blatt davon nicht ab; nur blieben die Blättchen desselben mehrere Tage unentfaltet. Der Blattstiel hatte seine Bewegungskraft verloren. Die letztere hat also nicht ihren Sitz in dem centralen Gefässbündel, sondern in dem Zellenparenchym des Wulstes. Als der untere Theil eines Wulstes abgetragen worden, blieb der Blattstiel immer in seiner zur Erde gesenkten Lage, und wenn der untere Theil eines andern Wulstes weggenommen wurde, war der Blattstiel nicht mehr fähig sich zu senken. Es schien daher durch diese mit gleichem Resultate öfter wiederholten Versuche bewiesen, dass die obere Schichte des Wulstes es ist, welche den Blattstiel nach abwärts drückt, und dass die untere Lage ihn aufwärts drückt. Diess wurde an abgeschnittenen Theilen des Wulstes selbst bestätigt. Die abgeschnittenen Schichten blieben zwar unbefeuchtet gerade, wenn sie aber in Wasser gelegt wurden, bogen sie sich jedesmal, und zwar immer so, dass die innere Seite concav wurde. Diese Fähigkeit hatten auch die seitlichen Schichten, und es war also

erwiesen, dass der ganze längliche Wulst um die Basis des Blattstiels aus Schichten besteht, welche durch Krümmung an ihrer innern Seite einen Druck auf den Blattstiel üben. Wird das Gleichgewicht dieses Druckes aufgehoben, so bewegt sich der Blattstiel und die Blättchen in der einen oder andern Richtung. Dutrochet schliesst aus seinen Versuchen p. 194., dass die Bewegung der Blattstiele und Blättchen von der Krümmung der Schichten des Wulstes, und diese wieder aus der Annäherung der von einander durch zartes Zellgewebe getrennten runden Zellen des Wulstes entstehen. Geht diese Erklärung aus seinen Versuchen hervor, so zeigt sich eine grosse Uebereinstimmung in der Contractilität der Pflanzen und Thiere, mit dem Unterschiede, dass die sich einander anziehenden Elemente bei den Thieren zusammenhängende Fäden bilden, während sie bei der Mimosa sensitiva zwar linear geordnet, aber von einander durch Interstitien getrennt sind. L. C. Treviranus (*Zeitschrift f. Physiol. I.* 176.) und Mohl (*Flora, 15. Jahrgang. p.* 499.) nehmen die von Dutrochet entdeckten anatomischen Thatsachen an, scheinen aber eine andere Deutung des Phänomens daraus zu folgern; beide sagen nämlich, dass Dutrochet's Versuche bewiesen haben, dass die vegetabilische Reizbarkeit auf Expansion des parenchymatösen Zellgewebes beruhe. Indessen geht diese Erklärung aus Dutrochet's Versuchen nicht direct hervor, und Dutrochet erklärt die Erscheinung vielmehr umgekehrt durch die Annäherung der von einander getrennten rundlichen Zellen, p. 194. Die Hauptfrage bleibt immer noch: entsteht die Senkung der Blattstiele durch Expansion des Wulstes an der obern Seite, wodurch der Blattstiel abwärts gedrückt wird, oder durch Krümmung des Wulstes an der obern Seite nach unten, wodurch der Blattstiel auch abwärts gedrückt werden muss. Da die rasche Expansion des Zellgewebes weder erwiesen, noch auch überhaupt wahrscheinlich ist, da die Zellen nicht durch ihre Wände so schnell die zur Expansion nöthigen Flüssigkeiten an sich ziehen können, und da die abgeschnittenen Stücke des Wulstes nach Dutrochet sich nicht expandiren, sondern im Wasser krümmen, so ist die Erklärung von Dutrochet durch Anziehung, Zusammenziehung wahrscheinlicher. Wir kennen keine raschen Bewegungen durch Expansion, als die Erection, diese geschieht durch Erguss von Flüssigkeit in früher collabirte Höhlungen; ein solcher schneller Erguss ist aber bei den geschlossenen Zellen des Wulstes der Mimosa nicht wohl denkbar, und eine active schnelle Expansion der blossen Zellenwände nach allen Richtungen ist auch nicht denkbar. Ich muss mich daher zur Erklärung von Dutrochet und zwar um so mehr hinneigen, als bei derselben die Analogie der vegetabilischen und animalischen Contractilität erhalten bleibt. Zugegeben, dass die Erscheinungen durch Contraction erscheinen, so sind nun wieder zweierlei Erklärungen möglich.

Nach Dutrochet ist die Erhebung des Blattstieles die Folge der Action der untern Hälfte des länglichen Wulstes, die Senkung die Folge der Action der obern Hälfte des Wulstes. Nach

dieser Ansicht ist im gewöhnlichen Zustande, so lange die Sensitiva nicht erschüttert wird, allein die untere Hälfte des Wulstes thätig, und nur bei der Erschütterung äussert die obere Hälfte ihre Reizbarkeit. Das heisst mit anderen Worten: die untere Hälfte des Wulstes, welche den Blattstiel beständig nach oben drückt, ist auf äussere Reize gar nicht afficirbar, gar nicht reizbar, sie wirkt bloss unter dem Einfluss der allgemeinen Lebensreize; gerade dann, wenn plötzliche Reize wirken, äussert sie ihre Contractilität nicht mehr. Diese Erklärung der Facta geht aus den von Dutrochet entdeckten Thatsachen nicht nothwendig hervor, und einige Beobachtungen scheinen ihr zu widersprechen. Die abgeschnittenen Stücke des Wulstes contrahiren sich im Wasser, sie mögen oben oder unten oder an den Seiten des Wulstes abgeschnitten seyn; ihre Contractilität müsste daher an allen Seiten des Blattstieles gleich seyn; indessen ist doch die folgende, auf einen supponirten Antagonismus von Elasticität und Contractilität beruhende Erklärung viel unwahrscheinlicher. Nimmt man an, dass der ganze längliche Wulst rund um die Basis des Blattstiels sich ohne Unterlass nach innen zusammenzieht (wie es im Wasser die abgeschnittenen Theile desselben thun), so wird im nicht erschütterten Zustande der Blattstiel gegen seine Insertion hingezogen, und er ist aufgerichtet. Jede Erschütterung soll nun, wie das Leben der ganzen Pflanze, so nämlich die Contractilität des Wulstes stören; der Blattstiel wird sich dann, so lange die Folgen der Erschütterung dauern, nicht mehr erhoben erhalten können, er wird sich (seiner Elasticität folgend?) senken. Haben die Folgen der Erschütterung aufgehört, so wirkt die Contractilität des ganzen Wulstes wieder, und der Stiel erhebt sich in der Richtung seiner Insertion wieder. Die Bewegung der Blättchen im Momente der Erschütterung gegen einander wäre dann auch als Zustand der Ruhe der lebendigen Contractilität zu betrachten, wie er auch im Schlafe der Pflanze eintritt, und die Entfaltung ausser der Zeit der Erschütterung fiele in die Zeit der Wirkung ihres Wulstes. Man sieht, dass sich die Phänomene auch so erklären lassen. Die abwechselnden Bewegungen der Blättchen von Hedysarum gyrans wären kein unübersteigliches Hinderniss gegen diese Erklärung. Man nimmt in diesem Fall, statt des Antagonismus zweier lebendigen Kräfte, eine rhythmisch wirkende lebendige Kraft, eine abwechselnd wirkende Contractilität an, während die Theile in den Zwischenzeiten der Elasticität allein folgen. Wäre die letztere Erklärung richtig, so würde sich die Contractilität der Pflanzen in dem Puncte wesentlich von der der thierischen, d. h. mit Nerven begabten Wesen unterscheiden, dass störende Eingriffe sie auf einen Augenblick aufheben, während diese Einflüsse bei den Thieren auf die Nerven wirkend, die Wirkung der Nerven entladen und eine Verstärkung der Contraction, eine Zuckung hervorbringen. Ich halte indess die Erklärung von Dutrochet für wahrscheinlicher, weil nach mehreren Beobachtern der auf Erschütterung gesenkte Blattstiel der künstlichen Erhebung widersteht, die Senkung des Blattstiels sich also als activer Moment erweist.

Nicht die unmittelbar gereizten Theile allein zeigen Contractilität; die Reizung pflanzt sich vielmehr auf eine noch unbekannte Art und wahrscheinlich durch Veränderung der Saftströmung in den Gefässbündeln, auf andere oder alle reizbaren Theile der Pflanze fort, so dass von dem gereizten Theile aus, selbst dann, wenn die Reizung ohne Erschütterung durch Brennen oder Säuren geschah, allmählig die nächsten, dann die entfernten Theile der Pflanze afficirt werden. Dutrochet hat durch Verletzung verschiedener Theile der Pflanze und Beobachtung den darauf stattfindenden Erfolge der Reizung es wahrscheinlich zu machen gesucht, dass die Fortpflanzung der Reizung nicht durch das Mark und die Holzfasern, sondern durch die Saftgefässe geschehe. Die längere Beraubung von dem Lichteinflusse und eine niedere Temperatur machen die Pflanze zur Aeusserung der Contractilität auf plötzliche Reize unfähig, während die mit dem Schlafe und Wachen zusammenfallenden Bewegungen derselben Theile anfangs noch fortdauern.

b. Von dem leimgebenden contractilen Gewebe der Thiere.

Die ersten Spuren der lebendigen Contractilität zeigen sich bei den Thieren in einem den Fasern des Zellgewebes sowohl durch seine Structur als durch seine chemischen Eigenschaften so ähnlichen Gewebe, dass man verleitet werden könnte, es für damit identisch zu halten, und dem Zellgewebe nicht bloss die ihm auch nach dem Tode zukommende elastische Contractilität, sondern auch organisches Zusammenziehungs-Vermögen zuzuschreiben. Wir wollen es vorläufig leimgebendes contractiles Gewebe nennen, ein Name, der seine Verschiedenheit von den aus Faserstoff bestehenden Muskeln hinlänglich bezeichnet. Da es am meisten Aehnlichkeit mit dem Zellgewebe besitzt, so wollen wir zuerst einen Blick auf dessen Structur und chemische Eigenschaften werfen.

Die Zusammensetzung des Zellgewebes ist schon oben Bd. I. p. 410. beschrieben. Es besteht aus mannigfaltig durchflochtenen Fascikeln, die wieder aus parallelen, ganz glatten, durchsichtigen Primitivfasern bestehen. Diese Fasern sind sehr fein und messen nach Krause $\frac{1}{1200}$—$\frac{1}{3500}'''$, nach Jordan (Mueller's *Archiv* 1834.) 0,0007 englische Linien im Durchmesser. Die Beschaffenheit dieser Fasern ist so eigenthümlich, dass sie sogleich unter dem Mikroskop jedesmal von anderen Fasern leicht unterschieden werden können. Ausser ihren glatten Rändern und ihrer durchsichtigen Beschaffenheit haben sie in ihrer geschwungenen Lage etwas ganz Charakteristisches. Unausgespannt bilden diese Fasern keine geraden Fäden, immer liegen sie bogen- oder wellenförmig. Doch bleiben die Fasern eines primitiven Bündels bei den Biegungen parallel. Diess Verhalten kömmt von der grossen Elasticität des Zellgewebes her. So oft diese Bündel gedehnt werden, jedesmal nehmen sie, sobald die Dehnung aufhört, die verschlungene Lage wieder ein. In chemischer Hinsicht gehört das Zellgewebe (von Blut und Lymphe ausgewaschen) in die Classe

der leimgebenden Gewebe (Zellgewebe, fibröses Gewebe, Knorpelgewebe). Es kann durch Kochen in Leim aufgelöst werden. Eigenschaften des Leims Bd. I. p. 128. Hiedurch unterscheiden sich die Zellgewebefasern durchaus von den Muskelfasern, welche in die Classe der eiweissartigen Körper gehören. Das Zellgewebe hat auch mit dem fibrösen Gewebe, Knorpelgewebe und auch mit dem elastischen Gewebe (welches beim Kochen keinen Leim giebt) das Verhalten gegen das rothe Cyaneisenkalium gemein. Seine essigsaure Auflösung wird nämlich durch Zusatz von rothem Cyaneisenkalium nicht getrübt, während die essigsaure Auflösung der eiweissartigen Körper, und also auch des Muskelgewebes, von rothem Cyaneisenkalium getrübt wird. Das chemische Verhalten des Zellgewebes ist oft zur Erkenntniss des Zellgewebes von Wichtigkeit, namentlich zur Unterscheidung des contractilen Zellgewebes von derjenigen Classe der Muskelfasern, welche gleichförmige und nicht varicöse Fäden bilden. Doch fehlt auch im letzten Fall, z. B. an den nicht varicösen Muskelfasern des Uterus, der Iris, des Darmkanals, immer die charakteristische geschwungene oder wellenförmige Lage der Zellgewebefasern.

Die Contractilität des dem Zellgewebe vergleichbaren Gewebes ist schon seit langer Zeit bekannt; aber man hat diese Erscheinung an gewissen Theilen oft mit der Muscularcontraction verwechselt, und da eine so geringe Veränderung des Durchmessers, als sie diese Art der Contraction bewirkt, leicht übersehen werden kann und schwer zu beweisen ist, so ist diese Erscheinung von Einigen ganz vernachlässigt oder gar geläugnet worden. Um diese Erscheinungen zu constatiren und zu studiren, geht man am zweckmässigsten von denjenigen Theilen aus, wo sie am auffallendsten sind, und wo eine genaue mikroskopische und chemische Sonderung der Gewebe möglich ist. Am auffallendsten ist die Erscheinung an der Tunica dartos des Hodensacks, die wegen ihrer lebhaften Contractilität, die sie am häufigsten gegen Kälte äussert, den Namen der Fleischhaut sich erworben hat. Die Structur derselben und ihre Stellung im Systeme der Gewebe ist neuerlich von Jordan (Mueller's *Archiv*, 1834) aufgeklärt worden.

Das Folgende ist ein Auszug dieser Untersuchungen. An der Stelle, wo an der äussern Fläche des Hodensacks oben die Falten ihren Anfang nehmen, verändert auch das Unterhautzellgewebe sein Ansehen und seine Structur; die Fettzellen, welche am Mons Veneris noch in reichlicher Menge vorhanden sind, hören plötzlich auf, und statt ihrer erscheint bei kräftigen Menschen, deren Hodensack auch stark gerunzelt ist, ein röthliches faseriges Gewebe. Die Fasern sind dehnbar und elastisch, und zu dünneren und diese zu dickeren Bündeln vereinigt, welche sämmtlich ihre Richtung von oben nach unten nehmen, also rechtwinklig gegen die Falten der äussern Haut gestellt sind, mit welcher sie so innig zusammenhängen, dass sie nur mit grosser Mühe und Vorsicht davon abpräparirt werden können. Diese Bündel laufen aber nicht vollkommen parallel neben einander, sondern anastomosiren vielfach, indem von einem Bündel Par-

tien abgehen und sich an das benachbarte Bündel anlegen, wodurch viele Maschen gebildet werden, die sämmtlich ihren längsten Durchmesser von oben nach unten haben und ein sehr dichtes und festes netzförmiges Gewebe zusammensetzen. So wie die Falten der äussern Haut, so ist auch dieses Gewebe an der vordern Seite des Hodensacks am deutlichsten, an der hintern meist gar nicht wahrzunehmen; man findet dasselbe schon bei kleinen Kindern und Neugebornen. Auch unter der äussern Haut des Penis zeigen sich ähnliche röthliche Fasern, die aber hier ein unregelmässigeres und viel dünneres Gewebe bilden. Ausser den beschriebenen Fasern finden sich in diesem Gewebe noch viele lange, dünne, gelbliche, sehr elastische und wenig verzweigte, abwärts laufende Cylinder. Diese sind, wie sich Jordan durch Injectionen überzeugt hat, Arterien, an der vordern Seite des Scrotum Aeste der A. pudenda externa, an der hintern Seite des Scrotum der A. scrotales posteriores. Zwischen der äussern Haut und der Tunica dartos fand Jordan kein verbindendes Zellgewebe, sondern die Faserbündel dieser hängen unmittelbar und sehr innig mit jener zusammen; die Cutis muss daher immer den Bewegungen der innern Haut folgen. Dagegen befindet sich zwischen der innern Fläche der Tunica dartos und den darunter liegenden Gebilden, dem Cremaster nämlich und der Tunica vaginalis communis, ein so lockeres Zellgewebe, dass, wie Jordan aus Versuchen an Leichnamen und lebenden Thieren gesehen hat, der Hode mit seinen Scheidenhäuten durch den Cremaster in die Höhe gezogen werden kann, während der untere Theil des Hodensacks leer bleibt.

Die Bündel, aus denen die Tunica dartos besteht, lassen sich in äusserst feine elastische Fasern auseinander ziehen. Diese Primitivfasern erscheinen unter dem zusammengesetzten Mikroskope als ihrer ganzen Länge nach gleich dicke, geschlängelte Cylinder, deren Durchmesser nach den von Jordan angestellten Messungen zwischen 0,0005—0,0009 Engl. Linien variirt, und im Mittel 0,0007 Engl. Lin. beträgt. Ebenso fand Jordan den Durchmesser der geschlängelten Primitivfasern des Zellgewebes in anderen Theilen =0,0005—0,0009, und in der Mehrzahl =0,0007 Engl. Lin. Die varicösen Muskelfasern, wie sie in den willkührlichen Muskeln und im Herzen vorkommen, betragen nach Schwann's genauen mit demselben Mikrometer angestellten Untersuchungen weniger im Durchmesser, nämlich im Mittel 0,0004 Engl. Lin. Die nicht varicösen cylindrischen Muskelfasern, wie sie im Darmkanal, Uterus des Menschen und der Thiere, und in der Iris vorkommen, weichen im Durchmesser auch von den Zellgewebefasern ab. Die Primitivmuskelfasern des Dickdarms betragen nach Schwann's Messungen 0,0007—0,0011—0,0013, sind also stärker als die Fasern des Zellgewebes und der Tunica dartos. Die Primitivfasern in der Iris des Schweins fand Schwann sehr fein, 0,0002—0,0003 Engl. Lin.; sie sind also feiner als die Fasern des Zellgewebes und der Tunica dartos. Aber abgesehen von dem Durchmesser der Fasern gleichen die Fasern der Tunica dartos durch ihr geschwungenes Ansehen und durch ihre

Elasticität ganz den Zellgewebefasern, und nicht den cylindrischen Muskelfasern der vorher erwähnten Theile.

Da nun aber die Faserbündel der Tunica dartos in Masse graurötblich, die Faserbündel des Zellgewebes vielmehr grauweisslich aussehen, und da die Bündel der Tunica dartos, obgleich Maschen bildend, doch durchgängig derselben Längenrichtung folgen, während die Bündel der Zellgewebefasern in den mannigfaltigsten Richtungen sich durchkreuzen, so frägt sich, ob die mikroskopische Uebereinstimmung der Fasern der Tunica dartos mit den Zellgewebefasern hinreicht, jene Haut mit dem Zellgewebe zu vereinigen. Die Entscheidung dieser Frage wird besonders durch die grosse mikroskopische Aehnlichkeit der Primitivfasern des Sehnengewebes mit den Zellgewebefasern schwierig, indem hinwieder das Sehnengewebe doch durchaus durch seine Eigenschaften sich von dem Gewebe der Tunica dartos unterscheidet. Sie wird auch erschwert durch die Existenz jener ganzen Classe von Muskeln, deren Primitivfasern nicht wie gewöhnlich varicös, sondern gleichförmig cylindrisch sind, eine Bildung, durch welche das Gewebe der Tunica dartos dem Gewebe jener Muskeln sehr nahe gestellt scheint. Hierzu kömmt, dass die Bewegung der Tunica dartos, wenn sie gleich in der Regel auf den Reiz der Kälte geschieht, doch auch zuweilen durch innere Zustände des Nervensystems bedingt wird, wie denn zuweilen derselbe Zustand der Nerven sowohl die Anziehung eines wirklichen Muskels, des Cremasters, als auch die Faltenlegung und Kräuselung des Hodensacks bewirkt; Phänomene, welche, wie sich sicher beweisen lässt, sich nicht von dem Cremaster zugleich ableiten lassen.

Andererseits sehen wir indess in der That auch Spuren der Contractilität des wahren Zellgewebes in anderen Theilen, z. B. an dem Unterhautzellgewebe zwischen den Platten der Vorhaut, welche sich bei reizbaren Menschen beim Baden in kaltem Wasser oft ganz enge zu festen Runzeln zusammenzieht. Es scheint auch das Phänomen der Gänsehaut hieher zu gehören, wobei kleine rundliche Erhebungen, wahrscheinlich die Bälge der Haut, sichtbarer werden. Diess Phänomen tritt auch ein, wenn ein kalter Luftstrom die Haut plötzlich berührt, oder bei Schauder bewirkenden Einwirkungen auf das Nervensystem. Jedenfalls ist etwas in der Haut Ursache der Erhebung, was von dem Muskelgewebe verschieden ist, und es lässt sich vermuthen, dass es das die Hautbälge umgebende Zellgewebe ist. Endlich kann auch das Phänomen der plötzlichen Erhebung der Brustwarze hieher gerechnet werden. Denn dass diese Erscheinung in die Classe der Erscheinungen der Erection gehöre, und von vermehrtem Blutzufluss herrühre, wie man gewöhnlich ohne Prüfung annimmt, muss ich aus mehreren triftigen Gründen bezweifeln. Denn 1. fehlt in der Brustwarze das spongiöse Gewebe der Corpora cavernosa penis, jene anastomotischen Venen, die sich mit Blut anfüllen können, und die Arteriae helicinae (Bd. I. 2. Aufl. p. 214.), welche das wahre erectile Gewebe auszeichnen und in die venösen Sinus der Corpora ca-

vernosa hineinragen. 2. tritt die Erhebung nicht bloss beim weiblichen Geschlecht unter wollüstigen Berührungen der Brustwarze ein, sondern es ist dieselbe Erscheinung an der Brustwarze des Mannes, ohne allen Zusammenhang mit dem Geschlechtstriebe, wahrnehmbar. 3. Beim Manne erhebt sich die Brustwarze fast augenblicklich und deutlich sichtbar, wenn man sie an sich selbst plötzlich und stark berührt, weniger wenn man sie mit kaltem Wasser berührt, mehr wenn man plötzlich in ein kaltes Bad tritt. 4. Diese Erhebung ist mit keiner grösseren Völle der Brustwarze verbunden; indem sie sich innerhalb einiger Secunden erhebt, wird sie vielmehr dünner und verliert in der Breite, was sie an Länge gewinnt. Alles Phänomene, welche die grösste Aehnlichkeit mit dem Sichtbarwerden der Hautfollikeln in der Gänsehaut und mit der Zusammenziehung und Runzelung der Vorhaut im kalten Wasser haben. Diese Erhebung der Brustwarze wird daher viel passender von einer Zusammenziehung des Unterhautzellgewebes um die Brustwarze erklärt. Es ist merkwürdig, dass das contractile Zellgewebe gerade vorzugsweise dort unter und in der Haut vorkömmt, wo die Haut eine dunkle Färbung hat, wie am Penis, am Hodensack, an der Brustwarze. Fügt man hierzu noch, dass sich in der ganzen Haut des Menschen unabhängig von einem Hautmuskel, ein schwächerer Grad von Zusammenziehungskraft äussert, und erwägt man, dass diese Erscheinung von eingestreuten Muskelfasern wohl nicht herrühren kann, so wird es sehr wahrscheinlich, dass alle bisher betrachteten Phänomene ihren gemeinsamen Grund in einem contractilen Zellgewebe haben, welches sich von dem gewöhnlichen Zellgewebe im Bau seiner Primitivfasern nicht unterscheidet. Die Uebereinstimmung des contractilen Zellgewebes mit dem gewöhnlichen Zellgewebe, und die Entfernung von der Classe der nicht varicösen, sondern cylindrischen Muskelfasern, wird noch grösser durch die chemische Analogie zwischen dem contractilen Gewebe der Tunica dartos und dem Zellgewebe, und durch die Verschiedenheit desselben von dem Gewebe der Muskeln.

Jordan hat gezeigt, dass die Tunica dartos schon durch dreistündiges Kochen zum Theil in Leim umgewandelt wird, und dass ihre essigsaure Auflösung, wie die des Zellgewebes und aller leimgebenden Gewebe und des elastischen Gewebes von Cyaneisenkalium nicht gefällt und nicht getrübt wird.

Ueber die Contractilität der Tunica dartos hat Jordan auch Versuche angestellt. Der gewöhnliche Reiz für ihre Zusammenziehung ist die Kälte; die Wärme erschlafft sie; der Galvanismus wirkt nicht auf sie, und diess ist um so interessanter, als es ein unterscheidendes Kennzeichen der Contractilität des Zellgewebes und der Muskeln abgiebt. An dem Anziehen der Hoden gegen den Bauchring hat die Tunica dartos keinen Antheil; diess geschieht durch den Cremaster. Bei Thieren, deren Hodensack nicht gefaltet ist, wie beim Kaninchen, beim Hunde, fand Jordan auch keine Dartos, sondern gewöhnliches Zellgewebe; beim Schafbock dagegen bei einer starken, wiewohl unregelmässigen Runzelung der äusseren Haut auch eine sehr ausgebildete Dartos.

Der Hodensack des Schafbocks runzelte sich auch in JORDAN's Versuch, als er mit kaltem Wasser begossen wurde. Zugleich wurden auf denselben Reiz und eben so plötzlich, als die Einwirkung desselben erfolgte, die Hoden durch den Cremaster in die Höhe gezogen, während der untere Theil des langsamer sich zusammenziehenden Hodensacks leer zurückblieb. Wurde die Anwendung des kalten Wassers ausgesetzt, so entfaltete sich auch der Hodensack in der Wärme wieder; das Herabsinken der Hoden dagegen erfolgte weit früher und eben so plötzlich, wie das Anziehen derselben. Der galvanische Reiz einer Säule von 65 Plattenpaaren zeigte auf die innere Fläche des Hodensacks keine Wirkung, dagegen der Hoden augenblicklich durch den Cremaster erhoben wurde.

c. Vom elastischen und contractilen Gewebe der Arterien.

Dass die elastische Faserhaut der Arterien keine Muscularcontractilität besitze, ist schon oben Bd. I. p. 195. theils aus galvanischen Versuchen, theils aus den wahren Eigenschaften dieser Haut bewiesen worden. Diese gelben Fasern gehören in eine Kategorie mit allen übrigen elastischen gelben Bändern und elastischen gelben Faserhäuten, wie das Ligamentum nuchae der Säugethiere, die gelben Bänder der Wirbelsäule (Ligamenta intercruralia), die gelben Bänder des Kehlkopfes, die gelben Fasern des häutigen Theils der Luftröhre und der Bronchien, das elastische Flügelband der Vögel, die elastischen Bänder an den Krallengliedern der Füsse in der Katzenfamilie, das von mir entdeckte elastische Band am einziehbaren und ausstülpbaren Theil des Penis des amerikanischen Strausses, das Schlossband der Muscheln. Die Elasticität der mittlern Haut der Arterien, wodurch sie sich, nach jeder Ausdehnung durch den Blutimpuls, bis zum nächsten Herzschlage zusammenziehen kann, erhält sich jahrelang in Weingeist. Ein Stück der Aorta eines jungen Wallfisches, das ich von meinem Freunde ESCHRICHT erhielt, ist im höchsten Grade elastisch, obgleich es jahrelang in Weingeist gelegen. Dünne Schichten davon abgeschnitten zeigen angezogen dieselbe Elasticität wie Gummi elasticum. Ganz so verhält sich aber alles elastische Gewebe, und mit allen oben erwähnten Bändern, die in Weingeist aufbewahrt worden, habe ich Versuche gemacht. Kurz die elastische Faserhaut der Arterien ist physicalisch und nicht durch eine Lebenseigenschaft contractil; sie zieht sich zusammen, wenn sie vorher ausgedehnt worden und die Ursache der Ausdehnung, wie nach einem Herzschlage, aufhört. PARRY und TIEDEMANN nehmen an den Arterien, ausser ihrer Elasticität, auch noch einen lebendigen Tonus an, der zwar bei dem Phänomen der rhythmischen Blutbewegung nicht wesentlich mitwirkt, aber sich doch an blossgelegten Arterien durch eine ganz allmählig eintretende Zusammenziehung äussert, und wodurch die Arterien vor dem Stillstande aller Blutbewegung bei dem Tode etwas

enger werden, als sie nach dem Tode durch ihre blosse Elasticität seyn können. Man weiss längst, dass kaltes Wasser zum Stillen der Blutung aus angeschnittenen Arterien geeignet ist; es ist Dr. SCHWANN gelungen, diese wichtige Erscheinung durch ein schönes Experiment aufzuklären. Wenn man nämlich kaltes Wasser auf die kleinen Arterien eines solchen durchsichtigen Theiles anwendet, wo die Arterien ganz unbefestigt und von dichtem Gewebe am wenigsten umgeben sind, so lässt sich die ganz langsam wirkende organische Contractilität gegen die Kälte sehen. Am besten eignet sich hierzu das Mesenterium der Feuerkröte, Bombinator igneus, besser als das Mesenterium des Frosches, weil dieses sich nicht so gut ausbreiten lässt. Nachdem das Mesenterium des Thieres unter dem Mikroskope ausgebreitet war, brachte SCHWANN einige Tropfen Wasser von einer Temperatur einige Grade niedriger als die der Luft (im Sommer) auf dasselbe. Bald darauf begann die Verengung der kleinen Arterien, und die Gefässe verengten sich binnen 10—15 Minuten allmählig so, dass der Durchmesser des Lumens einer Arterie der Feuerkröte, der anfangs 0,0724 Engl. Lin. betrug, auf 0,0276 reducirt, also um das 2—3fache verkleinert, das Lumen der Arterie selbst also um das 4—9fache verengt wurde. Die Arterie erweiterte sich darauf wieder, und hatte nach einer halben Stunde ihre frühere Ausdehnung ziemlich wieder erlangt. Wurde nun von neuem kaltes Wasser darauf gebracht, so verengte sie sich wieder, und so liess sich der Versuch an derselben Arterie mehreremal wiederholen. Die Venen dagegen verengten sich nicht. Die Beobachtung von SCHWANN wurde so oft wiederholt, dass an der Thatsache durchaus kein Zweifel ist. Ich selbst fand sie bei der Feuerkröte bestätigt. Da die grösseren Arterien zu diesem Versuche weniger geschickt sind, so ist es von Wichtigkeit, sich den Durchmesser der gemessenen Arterie zu merken. Die mit einer Messung begleitete Beobachtung betraf eine Arterie von 0,0724 Lin. Durchmesser. Die Arterien von circa $\frac{1}{10}$ Lin. Durchmesser besitzen also diesen ausserordentlichen Grad von langsam wirkender Contractilität gegen Kälte. Dass die über die Contractilität der kleinen Arterien mit chemisch wirksamen Flüssigkeiten und mit dem Galvanismus (der das Eiweiss des Bluts gerinnen macht) angestellten Versuche keine Beweiskraft haben, ist schon oben Bd. I. p. 195. auseinandergesetzt worden. SCHWANN hat einen geringen Grad von Contractilität gegen Kälte auch an etwas stärkern Arterien beobachtet. An den allerkleinsten Arterien lassen sich am Mesenterium des Frosches bei sehr starker Vergrösserung noch zarte undeutliche Querfasern sehen, und Dr. SCHWANN hat dergleichen Fasern selbst an den Capillargefässen im Mesenterium des Frosches bei sehr starker Vergrösserung (Objectiv 4. 5. 6. der SCHIEK'schen Mikroskope) entdeckt, wodurch nun entschieden bewiesen ist, dass die Capillargefässe Wände haben. Da diese Querfasern an den kleinsten Arterien dieselbe Anlage haben, als die elastischen Querfasern aller Arterien, so ist es zweifelhaft, ob diese Querfasern es sind, welche die Contraction der kleinen Arterien von kaltem

Wasser hervorbringen, ob das elastische Gewebe der Arterien, das seine Elasticität Jahre lang nach dem Tode in Weingeist erhält, während des Lebens auch noch die mit dem Tode verloren gehende Eigenschaft des Tonus besitzt, oder ob die unmerkliche Zusammenziehung der kleinen Arterien auf Anwendung der Kälte von noch unbekannten Elementen in ihrer Structur herrührt. Den Tonus der Arterien von ihrer Zellgewebescheide abzuleiten, nehmen wir deswegen Anstand, weil die kleinen Venen jene Contractilität nicht zeigen. Von der Muscularcontractilität unterscheidet sich der Tonus der Arterien, dass er nicht allein keine plötzlichen Contractionen bewirkt, sondern auch von der Electricität nicht deutlich, vorzüglich aber wie die Zusammenziehung des Leim gebenden contractilen Gewebes von Kälte angeregt wird.

d. Vom Muskelgewebe.

1. *Chemisches Verhalten.*

In chemischer Hinsicht gehören die Muskeln zur Classe derjenigen thierischen Theile, welche beim Kochen keinen Leim geben (ausser dem die Muskelbündel verbindenden Zellgewebe), und deren essigsaure Auflösung von rothem Cyaneisenkalium gefällt wird. So verhalten sich alle eiweissartigen Körper, als da sind das Eiweiss, der Käsestoff, der Faserstoff, das faserige Gewebe der Corpora cavernosa des Pferdes, und das faserstoffhaltige Gewebe der Muskeln. Dieser Classe der eiweissartigen Körper ist die zweite Classe der Stoffe und Gewebe entgegengesetzt, welche sich im thierischen Körper weniger durch Lebenseigenschaften, als vielmehr durch ihre physicalischen Eigenschaften der Cohärenz, Undehnbarkeit oder Dehnbarkeit und Elasticität auszeichnen. Letztere verhalten sich chemisch wieder auf gleiche Art. Ihre essigsaure Auflösung wird von rothem Cyaneisenkalium nicht gefällt, und hieher gehören: das Zellgewebe, das Sehnengewebe, das elastische Gewebe und der Knorpel, wovon das Zellgewebe, Sehnengewebe, Knorpelgewebe beim Kochen Leim geben, während das elastische Gewebe hiebei sich nicht in Leim auflöst. Durch dieses chemische Verhalten beider Classen der thierischen Stoffe lässt sich die elastische Arterienfaser leicht von der Muskelfaser unterscheiden, welche erstere sich chemisch ganz so wie alles elastische Gewebe, nämlich wie das elastische Gewebe des Ligamentum hyothyreoideum und cricothyreoideum medium, die elastischen Fasern der hintern Haut der Luftröhre, die Ligamenta flava der Wirbelsäule, das Band der Flughaut der Vögel, das Ligamentum nuchae der Säugethiere verhält. Dagegen ist es schwer und oft unmöglich, von einem Körper, der nach seinem chemischen Verhalten zur Classe der eiweissartigen Körper gehört, chemisch auszumitteln, ob er Muskelsubstanz oder Eiweiss u. s. w. ist. Das ungeronnene Eiweiss lässt sich zwar durch seine Löslichkeit in kaltem und lauem Wasser und durch seine Gerinnbarkeit bei 70—75° Cent., durch Alcohol, Mineralsäuren, Metallsalze, der ungeronnene Faserstoff durch

seine freiwillige Gerinnung ausser dem thierischen Körper, der ungeronnene Käsestoff durch seine Auflöslichkeit auch bei der Siedhitze erkennen; allein das geronnene Eiweiss und der geronnene Faserstoff des Blutes und der Muskeln lassen sich chemisch nicht weiter unterscheiden, als dass der Faserstoff das Wasserstoffsuperoxyd zersetzt, worauf das Eiweiss ohne Einfluss ist. Den Faserstoff des Blutes und der contractilen Muskeln zu unterscheiden giebt es keine chemischen Hülfsmittel. Vergl. über die chemische Zusammensetzung der Muskeln, Bd. I. p. 351.

Zur Unterscheidung solcher faserigen Gewebe, welche beim Kochen keinen Leim geben und deren essigsaure Auflösung von rothem Cyaneisenkalium gefällt wird, die also zur Classe der eiweissartigen Körper gehören, giebt es kein Hülfsmittel als die Beobachtung ihrer Lebenseigenschaften. So sind das faserige Gewebe in den Corpora cavernosa des Penis des Pferdes, und die contractile Muskelsubstanz nur durch die Lebenseigenschaft der lebendigen Muskeln, sich auf Reize zusammenzuziehen, unterscheidbar, welche nach meiner am lebenden Pferde angestellten Untersuchung jenem Gewebe des Penis fehlt. Wären alle Muskelfasern perlschnurartig oder varicös, und gäbe es nicht eine ganze Classe von gleichartigen cylindrischen Muskelfasern, so wäre jene Unterscheidung durch das Mikroskop leicht, da sie doch in der That unmöglich ist.

Aber selbst die Contractilität ist nicht immer hinreichend, Muskelfasern zu unterscheiden. Aus der Classe der nicht eiweissartigen Körper besitzen einige Gewebe einen geringen Grad von Contractilität, namentlich gegen Kälte. So zieht sich das Gewebe der Tunica dartos, die wesentlich aus leimgebenden Fasern besteht, auf den Reiz der Kälte zusammen, ebenso das Hautzellgewebe, namentlich um die Hautfollikeln beim Phänomen der Gänsehaut, das Unterhautzellgewebe des Penis, namentlich der Vorhaut, und wie Schwann durch mikroskopische Versuche (siehe oben p. 29.) an den kleineren Arterien entdeckt hat, ziehen sich diese auf den Reiz der Kälte ganz langsam zusammen, und dehnen sich später wieder aus. Die Unterscheidung der contractilen Zellgewebefasern und der nicht perlschnurartigen Form der Muskelfasern ist jedoch durch chemische Hülfsmittel, die oben angegeben sind, leicht. Die Fasern des Uterus, der Iris verhalten sich z. B. chemisch wie Muskelfasern, die Fasern der Tunica dartos wie Zellgewebefasern. Letzteres ist durch Jordan's Untersuchungen erwiesen. Siehe oben p. 27.

Die rothe Farbe der Muskeln hat man vom Färbestoff des Bluts abgeleitet, und in der That wird diese Farbe auch, wie die des Färbestoffes des Bluts, an der Luft erhöht. Indessen sah Schwann einmal die von Natur blassen Muskeln des Karpfen bei der Maceration in der Kälte im Winter nach einiger Zeit stark roth werden, was gegen die Ableitung der Farbe von einer mit dem Färbestoffe des Bluts identischen Materie spricht.

2. *Bau der Muskeln.*

Die Elemente der Muskeln sind entweder perlschnurartige

oder cylindrische Fasern, welche unverzweigt und parallel bündelweise neben einander liegen, und in den primitiven Bündeln nach Krause durch eine durchsichtige zähe Flüssigkeit mit einander verbunden sind. Die primitiven Bündel von 500—800 Fasern sind nach Krause $\frac{1}{32}'''$—$\frac{1}{260}'''$ dick. Nach Schwann's Untersuchungen betragen sie am Schlunde des Menschen 0,0210—0,0250 Engl. Linien im Durchmesser. Die primitiven Bündel sind von Zellgewebescheiden eingeschlossen und verbunden. Aus der Zusammensetzung der primitiven Bündel entstehen secundäre u. s. w. Selten liegen schon die Bündelchen zwischen festen fibrösen Scheidewänden, wie bei Petromyzon. Hier sind die Seitenmuskeln nicht allein durch sehr viele schiefe Ligamenta intermuscularia in Abtheilungen zerfällt, wie bei den Fischen überhaupt, sondern zwischen diesen liegen wieder parallele sehr feste Scheidewändchen dicht neben einander, und in den engen Räumchen dieser Scheidewände liegen die plattenartigen Bündel des sehr weichen Muskelfleisches. In Hinsicht der Form der Elementarfasern sind die Ansichten der Physiologen sehr verschieden. Einige halten sie für einfach und gleichartig, wie Schultze; Andere betrachten sie als aus Kügelchen zusammengesetzt, wie Bauer, Home, Milne Edwards, Prevost und Dumas, Krause; Andere sehen sie als knotig an. So widersprechend die erstere und die letztere Ansicht sind, so sind sie doch zugleich richtig, es kömmt nämlich auf die Art der untersuchten Muskeln an, von denen es 2 Formen giebt.

I. Muskeln mit varicösem Bau der Primitivfasern und Querstreifen der primitiven Bündel. Diese Muskeln sind die am meisten untersuchten. Es gehören hieher die mehr rothen Muskeln der willkührlichen und unwillkührlichen Bewegung; von dem System der willkührlichen Muskeln alle, mit Ausnahme der Urinblase, vom System der unwillkührlichen Muskeln die des Herzens. Es gehören jedoch nicht alle rothen Muskeln hieher; das rothe Muskelfleisch des Vogelmagens gehört z. B. in die zweite Classe der Muskeln mit der Muskelschicht des ganzen Darms. Auch sind die hieher gehörenden Muskeln nicht in allen Fällen roth. Die Muskeln der Fische sind in der Regel blass, und nur die Muskeln der Kiemendeckel sind oft roth, beim Karpfen auch eine dünne Schichte unter der Seitenlinie. Die rothen und die blassen Muskeln der Fische unterscheiden sich übrigens durch nichts in ihrem innern Bau; sie verhalten sich unter dem Mikroskope gleich und gehören zur ersten Classe der Muskeln. Alle hieher gehörigen Muskeln zeichnen sich nicht allein durch stärkere, sondern auch durch schnellere und dem Reize augenblicklich folgende Bewegungen aus. Die primitiven Bündel zeigen immer unter dem Mikroskope dicht hinter einander folgende Querstreifen, die durchaus parallel und meist gerade, selten ein wenig gebogen sind. Am Herzen sind die Querstreifen viel schwerer zu erkennen, aber auch vorhanden, wie R. Wagner richtig bemerkt; selten sind die primitiven Bündel am Rande wellenförmig gekräuselt. Die Primitivfasern dieser Muskeln zei-

gen regelmässige rosenkranzförmige Anschwellungen, welche etwas dunkler sind, als die ganz kurzen dazwischen liegenden Einschnürungen. Doch lässt sich nicht behaupten, dass die Muskelfasern aus einer blossen Aggregation von Kügelchen bestehen, wobei die Zwischensubstanz zwischen den Anschwellungen übersehen wird, und ganz unhaltbar ist die Meinung, dass die Fasern durch Aggregation der Kerne der Blutkörperchen entstehen, von denen sie sich bei vielen Thieren nach meinen und R. Wagner's Beobachtungen durch die Grösse unterscheiden. Vgl. oben Bd. I. p. 312. Der Durchmesser dieser Fasern beträgt nach Prevost und Dumas $\frac{1}{8100}$ = 0,00012 P. Z., nach mir beim Frosch $\frac{1}{300}$—$\frac{1}{800}$ Lin., die feinsten beim Papagay 0,00020 P. Z. R. Wagner fand sie bei allen Wirbelthieren und Insecten, und beim Flusskrebs, sowie an der Herzkammer von Helix pomatia sehr gleichmässig gross, nämlich $\frac{1}{800}$—$\frac{1}{1000}$ Lin. breit; Krause mass sie zu $\frac{1}{800}$ bis $\frac{1}{1060}$ Lin. Die Blutkörperchen des Kaninchens sind 5—6mal grösser als die Primitivfasern seiner Muskeln.

Dr. Schwann hat sich anhaltend mit der mikroskopischen Untersuchung der Muskeln während eines Winters beschäftigt; er hat die Resultate seiner Untersuchung hier niedergelegt. Die Breite der Muskelbündel erster Ordnung beträgt 0,0216—0,0250 Engl. Lin. Um die Primitivfasern der Muskeln isolirt darzustellen, muss man die Muskeln bei einer geringen Temperatur von 1—8° R. 8—21 Tage lang maceriren. Bei einer höhern Temperatur verwandelt sich alles in einen Brei, an dem sich nichts mehr erkennen lässt; aber auch bei der angegebenen Temperatur verhalten sich die Muskeln verschiedener Thiere beim Maceriren nicht gleich. Bald verschwinden die Querstreifen, ehe die Primitivfasern sich isoliren, bald trennt sich ein Muskel eher der Länge nach als in seine Primitivfasern, obgleich die Querstreifen deutlich bleiben. Am besten eigneten sich die Muskeln des Kaninchens zur Untersuchung. Die Primitivfasern der Muskeln sind perlschnurartige Fäden. Es erscheinen nämlich an diesen Fäden unter dem Mikroskope regelmässig auf einander folgende dunkle Puncte von 0,0006—0,0008 Engl. Lin. Breite, die durch helle und etwas dünnere Stückchen unter einander verbunden sind. Die Entfernung der einzelnen Puncte ist nicht überall dieselbe. Sie lässt sich sehr genau messen, indem man die Länge eines Stückes misst, worin eine bestimmte Anzahl derselben vorhanden ist. So betrug die Entfernung von 5 dunkeln Puncten an einer Stelle von Schlunde des Menschen 0,0060'''; ein einzelner dunkler Punct mit dem dazu gehörigen hellen Stückchen mass also 0,0012'''. Davon kommen auf den hellen Theil ungefähr 0,0008''', auf den dunkeln 0,0004'''. Dass die Querstreifen der Muskelbündel durch das Aneinanderlegen der dunkeln Puncte der Primitivfasern entstehen, wird durch folgende Beobachtungen erwiesen. 1. Ihre Entfernung stimmt vollkommen mit einander überein. Beim Kaninchen fand Schwann die Entfernung von 5 Querstreifen eines Muskelbündels 0,0045. An einer Primitivfaser, die aus demselben Bündel hervorstand, betrug die Entfernung von 5 dunkeln Punkten 0,0046. 2. Zuweilen

trennen sich am Ende eines macerirten Muskelbündels die Primitivfasern in der Breite von einander, ohne sich in der Länge zu verrücken. Man sieht dann an diesen ausgebreiteten Stücken noch Querstreifen, welche eben so weit von einander entfernt sind, wie die Querstreifen des übrigen Bündels, aber von dunkeln Puncten gebildet werden, die sich einzeln deutlich unterscheiden lassen und nicht mehr zusammenhängen. 3. Endlich beobachtet man auch zuweilen eine Verrückung der Primitivfasern der Länge nach; der Muskel erscheint dann beim ersten Anblick nicht quergestreift, sondern punctirt. Bei genauerer Betrachtung sieht man aber, dass die dunkeln Puncte, wenn man sie in der Richtung der Fasern verfolgt, regelmässig auf einander folgen. In der queren Richtung aber ist die Reihe unregelmässig unterbrochen. Da also die Querstreifen der Muskeln durch die dunkeln Puncte der Primitivfasern hervorgebracht werden, so braucht man bloss die Entfernung der Querstreifen des Muskels zu messen, um die Entfernung der dunkeln Puncte der Primitivfasern kennen zu lernen. An einem Muskelbündel erster Ordnung sind die Querstreifen immer parallel, also die dunkeln Puncte der Primitivfasern gleich weit von einander entfernt. Dagegen können die Querstreifen bei zwei dicht neben einander liegenden Muskelbündeln erster Ordnung, bei dem einen nahe zusammen, bei dem andern weit von einander entfernt liegen. Am auffallendsten ist diess beim Schlunde des Menschen der Fall. Die Entfernung von 5 Querstreifen betrug bei demselben an einer Stelle 0,0065—0,0068, an einer andern 0,0053—0,0056''', an einer dritten lagen sie noch dichter zusammen, so dass man sie nicht zählen konnte. Bei einer andern Leiche fand Schwann am Schlunde die Entfernung von 5 Querstreifen in einem Bündel 0,0034, an einem andern, dicht daran liegenden 0,0080'''. Beim Kaninchen ist die gewöhnliche Entfernung in den willkührlichen Muskeln 0,0043—0,0046'''.

Die Verbreitung der varicösen Muskelfasern, deren Bündel Querstreifen haben, ist beim Menschen sehr bestimmt, und nirgends giebt es Uebergänge. Sie finden sich in allen vom Cerebrospinalsystem abhängigen Muskeln, und von den unwillkührlichen bloss am Herzen, wo jedoch die Querstreifen sehr undeutlich sind. Am ganzen Darmkanale, am Uterus und an der Urinblase zeigen sich diese Muskelfasern nicht. Die Schlundmuskeln gehören der ersten Classe an. Ihre Bündel haben deutliche Querstreifen, und ihre Primitivfasern deutliche Varicositäten. Die Muskelfasern der Speiseröhre dagegen sind nicht varicös und zeigen keine Querstreifen. Die Grenze ist ganz scharf, aber nicht, wie man glauben könnte, am Anfange der Speiseröhre, sondern in der Gegend des Endes des ersten Viertels, wie Schwann entdeckt hat. Der oberste Theil der Speiseröhre ist noch mit einer Schicht von Muskelfasern der ersten Classe belegt, mit deutlichen Querstreifen und Varicositäten. Diese sind als Fortsetzung der eigentlichen Schlundmuskeln, die denselben Bau haben, zu betrachten. Die varicösen Muskelfasern am obersten Theile der Speiseröhre bilden an der hintern Seite bogenförmige zarte Bündel, die an

der einen Seite herabsteigen und bogenförmig zur andern Seite wieder heraufsteigen. So grenzt auch am Mastdarm das System der ersten Classe in dem Sphincter ani, dicht an das System der zweiten Classe, und dasselbe findet am Halse der Harnblase statt. Die pars membranacea der Harnröhre ist mit zarten röthlichen Muskelbündeln belegt, welche nach meiner Beobachtung deutliche Querstreifen haben und der ersten Classe angehören, während die blassen Muskelfasern der Harnblase und des Blasenhalses keine Spur davon zeigen.

Eines der merkwürdigsten contractilen Organe in der Thierwelt ist das Gaumenorgan der Karpfen und anderer Cyprinen, welches in der Familie der Cyprinoiden nicht allgemein ist, da ich es beim Rapf, Cyprinus Aspius, nicht vorfand. Der contractile Theil desselben ist der oberflächliche, darunter liegt Zellgewebe. Es ist ausserordentlich nervenreich durch Aeste des N. vagus. E. H. Weber hat seine eigenthümliche Art der Contraction entdeckt. Bei mechanischer Berührung des Organs bemerkt man eine conische Erhebung der Oberfläche an dieser Stelle, die über eine Minute dauert. Streicht man in einer Linie mit einem spitzen Körper darüber, so entsteht ein Wall; macht man parallele Striche, so entstehen parallele Erhebungen. Drückt man breit auf, so erfolgt eine breite Erhebung. Durch Dehnung des Organs bewirkte ich Erhebung und Zuckung in der Richtung der Dehnung. Salpetersäure, Schwefelsäure und Alkohol wirkten in meinen Versuchen nicht, wohl aber Schwefelsäure in Weber's Versuch. Die galvanische Entladung einer Säule von 40 Plattenpaaren brachte mir die stärksten Zuckungen des Organs hervor, immer in der Richtung der Strömung. Auch diess contractile Organ gehört zur ersten Classe der Muskelfasern. Oberflächlich betrachtet, sieht man an ihm gar keine Fasern und Bündel. Wird aber die Schleimhaut abgezogen und das Organ gerissen, so sieht man, dass es in gewissen Richtungen leichter reisst, und es kommen durcheinander geschobene rothe Fleischbündel zum Vorschein, welche bei mikroskopischer Untersuchung deutliche Querfasern besitzen und deren Primitivfasern varicös sind. Die Bündel sind alle ohngefähr so dick, wie die primitiven Bündel an den Muskeln der Menschen. Die meisten Bündel laufen von vorn nach hinten, aber schiefe Bündel schieben sich in mannigfaltigen Richtungen hindurch. Zwischen den Bündeln liegen sehr viele Oeltropfen. Hierdurch ist die eigentliche Wirkungsart des Organes aufgeklärt.

Die varicösen Muskelfasern mit Querstreifen der primitiven Bündel sind nicht auf die Wirbelthiere beschränkt. Bei den Insecten kommen sie z. B. in den willkührlichen Muskeln durchgängig vor. Jedes primitive Bündel hat eine sehr dünne Scheide, welche als durchsichtiger Rand oft unterschieden werden kann.

Rudolph Wagner hat viele niedere Thiere in Hinsicht des Vorkommens der gestreiften Muskelbündel untersucht. Mueller's *Archiv*. 1835. 318. Er fand sie, ausser allen Wirbelthieren, bei den Insecten, Crustaceen, Cirrhipeden und Arachniden.

II. Muskeln mit cylindrischen, nicht varicösen Primitivfasern und ohne Querstreifen der primitiven Bündel. Im ganzen Tractus intestinalis der höheren Thiere, vom eigentlichen Oesophagus an bis zum After, kommen diese Muskelfasern vor. Diess ist um so auffallender, da die willkührlichen Muskelfasern des Schlundes der ersten Classe angehören. Im Dickdarm des Menschen war die Breite der Primitivfasern der Muskeln 0,0007, 0,0011, 0,0013 Englische Linien nach SCHWANN's Untersuchungen. Ihre Ränder waren ganz glatt. Auch am Muskelmagen der Vögel fand R. WAGNER keine Querstreifen, obgleich dieses Muskelfleisch roth ist (BURDACH's *Physiologie* 5.), und diess haben wir eben so gesehen. Auch im Uterus des Menschen und im schwangern Uterus des Kaninchens und an der Urinblase fand SCHWANN keine mit Querstreifen versehenen Fasern. In der Iris des Menschen und des Kaninchens konnte SCHWANN keine einzelnen Fasern isoliren. Doch zeigten sie, wie auch in LAUTH's Untersuchungen (*Institut. Nr.* 57. 70. 73.), eine deutlich faserige Structur, und zwar liefen die Fasern in der Nähe des Pupillarrandes concentrisch, in der Peripherie radial. Die Cirkelfasern der Iris des Ochsen bestehen nach LAUTH aus primitiven Muskelfasern in Bündel vereinigt, die durchflochten verliefen. LAUTH unterschied bloss Längenfasern, aber keine Querfasern. In der Iris des Schweines konnte SCHWANN die Fasern ohne Maceration leicht darstellen, indem er sie auseinander zerrte. Sie sind sehr fein, 0,0002—0,0003 Engl. Lin. breit, vollkommen cylindrisch, nicht perlschnurartig. Unter den Wirbellosen finden sich die Muskelfasern ohne Querstreifen, nach R. WAGNER's Untersuchungen, durchgängig vor bei den untersuchten Mollusken (Cephalopoden, Gasteropoden, gehäusigen Acephalen, Ascidien), und ebenso bei den Echinodermen.

Ueber die Entstehung der Muskeln und über VALENTIN's Beobachtungen hierüber siehe oben Bd. I. 362. Ueber die physicalischen Eigenschaften der Muskeln siehe HALLER *Element. libr. XI. S.* 2. §. 2. E. H. WEBER's *Anatomie. I.* 396.

2. *Von den Lebenseigenschaften der Muskeln.*

Die Lebenseigenschaften, welche man in den musculösen Theilen wahrnimmt, sind, ausser den allgemeinen, allen thierischen Theilen zukommenden Eigenschaften, Empfindlichkeit und Contractionskraft. Erstere kömmt nur den in ihnen sich verbreitenden Empfindungsfasern und nicht dem Muskel selbst zu, letztere ist die wesentliche Energie des Muskels, die er auf jedwede Art der Reizung äussert, während die Lebensenergien anderer Organe auf dieselben Reize andere, z. B. Empfindungen, Absonderung u. s. w. sind. Die Empfindlichkeit der Muskeln für äussere Eindrücke ist gering, wie man bei Verletzungen derselben durch Schnitte und Stiche sieht. Eine durch die Haut durchgedrungene Nadel kann ohne Schmerzen tief in einen Muskel eingestossen werden; auch an dem blossliegenden Herzen hat man nur einen sehr geringen Grad von Empfindlichkeit bemerkt. Gleichwohl besitzen die Muskeln ein sehr feines Gefühl

für ihre Zustände, oder vielmehr ihre Nerven leiten vortrefflich die Zustände, in welche sie durch die Contraction versetzt werden, wie wir denn hierdurch nicht bloss die Ermüdung und den Krampf der Muskeln empfinden, sondern durch die Zusammenziehung der Muskeln bei unseren Tastbewegungen ein sehr bestimmtes Gefühl von der räumlichen Anordnung der Körper erhalten und durch die Kraft der angewandten Zusammenziehung die Schwere und den Widerstand der Körper messen und vergleichen. Das Gefühl der Muskeln kann wohl nicht von denselben Nervenfasern abhängen, welche ihre Bewegung hervorrufen. Wenn man beim Frosch auf einer Seite die hinteren Wurzeln der Nerven für die Hinterbeine durchschneidet, die vorderen unverletzt lässt, so verliert der Frosch alle Spur von Empfindungskraft, nicht bloss in der Haut, sondern auch in den Muskeln des Unterschenkels und Fusses, während er die vollkommenste willkührliche Bewegung in diesen Muskeln behält. Man kann ganze Stücke seines Beines abschneiden, und er wird dadurch nicht zu Bewegungen veranlasst. Schnitt ich bei einem Frosch auf einer Seite A die hinteren, auf der anderen Seite B die vorderen Wurzeln durch, so behielt er in dem Bein A die Bewegung, wo er die Empfindung verlor, im Bein B die Empfindung, wo er die Bewegung einbüsste. An dem Beine B, das er nicht bewegen konnte, empfand er den Schmerz, der ihn zum Forthüpfen veranlasste, wobei er das Bein B nachschleppte.

Die Muskeln bewegen sich, sobald sie selbst oder ihre motorischen Nerven auf irgend eine Art gereizt werden. Alle Reize bringen dieselbe Wirkung hervor, sowohl mechanische als chemische, Kälte, Wärme und electrische Reize. Alle diese Reize bewirken aber auch von ihren Nerven aus Bewegung. Die Säuren bewirken leichter diesen Erfolg, wenn sie auf den Muskel, als wenn sie auf den Nerven wirken; doch ist es nicht für alle Fälle gültig, was oben Bd. I. p. 596. bemerkt wurde, dass die Säuren zwar, auf den Muskel wirkend, Bewegung hervorrufen, auf den Nerven allein wirkend, den Muskel ruhig lassen. Bischoff und Windischmann haben wenigstens öfter auch im letzteren Fall einen Erfolg gesehen. Haller hat die Eigenschaft des Muskels, auf jederlei Reize sich zusammenzuziehen, sich zum besondern Studium gemacht, und dieser specifischen Eigenschaft den Namen Irritabilität ertheilt, welche der specifischen Reizbarkeit der Nerven, Sensibilität, entgegen gestellt wurde. *Deux mémoires sur les parties sensibles et irritables. Lausanne* 1756. Es haben sich indess an den Namen Irritabilität, in diesem Sinne, so viele hypothetische Vorstellungen und falsche Begriffe angehängt, dass er besser in der Historie der Medicin, als in der Physiologie selbst ferner figurirt.

Die Contractilität der Muskeln gegen Reize, die auf sie selbst oder ihre Nerven angebracht werden, äussert sich in ihnen noch einige Zeit nach dem Tode; sie bleibt in den musculösen Theilen um so länger, je weniger zusammengesetzt die Structur eines Thieres ist. Mit der Zusammensetzung der Structur nimmt die Abhängigkeit der Theile von einander zu, und in demselben Grade

nimmt nothwendig die Dauer der Lebenserscheinungen in den einzelnen Theilen nach dem Zerfall des Ganzen ab. Unter den Wirbelthieren zeichnen sich die kaltblütigen in dieser Hinsicht vor den warmblütigen aus. Viele Stunden lang erhält sich die Reizbarkeit des Herzens bei den Fischen und Amphibien viele Stunden namentlich in der kälteren Jahreszeit die Reizbarkeit der übrigen Muskeln beim Frosch, und die geköpfte Schildkröte zeigt noch nach einer Woche Reizbarkeit in ihren Muskeln. Bei den höheren Thieren dauert die Irritabilität der Muskeln in der Regel nur eine oder zwei Stunden; indessen giebt es einzelne Fälle, wo sie nach vielen Stunden noch nicht erloschen ist, wie z. B. in den Hautmuskeln des Igels. Nysten (*Rech. de physiol. et de chim. path.* 321.) fand bei seinen Versuchen an den Leichen hingerichteter, vorher gesunder Menschen, dass die Muskeln in folgender Ordnung ihre Fähigkeit zu Zusammenziehungen verlieren. Die Aortenkammer des Herzens verliert sie am frühesten, der Darmkanal nach 45—55 Min, fast um dieselbe Zeit die Harnblase, der rechte Ventrikel nach einer Stunde, die Speiseröhre nach $1\frac{1}{2}$ Stunden, die Iris 15 Min. später, noch später die Muskeln des animalischen Lebens, zuletzt die Vorhöfe des Herzens, und am spätesten der rechte, der in einem Fall (p. 330.) nach $16\frac{1}{2}$ Stund. auf galvanischen Reiz sich noch zusammenzog. Bei den Vögeln erlischt die Contractilität der Muskeln schneller als bei den Säugethieren, schon nach 30—40 Min. bis 1 St. Bei den Fröschen dauerte die Reizbarkeit des Herzens mehrere Stunden nach dem Tode, in den animalischen Muskeln 17—18 Stunden; an den Vorhöfen und an den Hohlvenen wurden 14—20 Stunden nach dem Tode noch Spuren von Reizbarkeit bemerkt. Bei jungen Thieren dauert die Contractilität im Allgemeinen länger. Nysten sah bei neugebornen Katzen noch nach 3 Stunden 45 Min. Contractionen in den Muskeln auf Reize entstehen, und nach $6\frac{1}{2}$ Stunden sah er noch den rechten Vorhof auf Reize sich zusammenziehen. Im Allgemeinen kann man aus den vorliegenden Beobachtungen schliessen, dass, je einflussreicher das Athmen bei einem Thiere, je grösser das Athembedürfniss ist, um so kürzer die Reizbarkeit seiner Muskeln nach dem Tode dauert.

Manche Stoffe vermindern bei ihrer Einwirkung auf die Muskeln ihre Reizbarkeit. Die Muskeln von Thieren, die in kohlensaurem Gase, Wasserstoffgase, Kohlenoxydgase, Schwefeldämpfen erstickt worden, ziehen sich bei Reizen nur schwach oder gar nicht zusammen, dagegen die Muskeln in atmosphärischer Luft und im Sauerstoffgase länger contractil bleiben. Tiedemann's *Physiol. I.* 551. Vgl. Nysten 328. Das reine Wasser vermindert bei längerer Berührung mit den Muskeln auffallend ihre Reizbarkeit. Diess ist von Nasse zuerst beobachtet und von Stannius neulich bestätigt worden. Präparirte Froschschenkel, die einige Zeit im Wasser gelegen haben, eignen sich zu delicaten Versuchen über die Reizbarkeit der Nerven und Muskeln gar nicht mehr. Siehe Hecker's *Annalen.* 1832. *Dec.* Narcotische Stoffe, örtlich auf die Muskeln applicirt, tilgen ihre Reizbarkeit; auf die Nerven der Muskeln örtlich applicirt, tilgen sie die Fähigkeit des Ner-

ven, von der narcotischen Stelle aus den Muskel zur Contraction zu bringen, dagegen die zwischen der narcotischen Stelle und dem Muskel liegende Strecke des Nerven ihre Reizbarkeit behalten hat. Tödten Narcotica, indem sie in den Kreislauf gelangen, so vermindern sie nicht in dem Grade die Reizbarkeit, als bei der localen Application in concentrirter Form. Man kann an Fröschen, die durch Narcotica getödtet sind, noch Stunden lang Zuckungen der Muskeln durch Reizung der Nerven und Muskeln bewirken. Stoffe von zersetzender chemischer Wirksamkeit, wie ätzende Alcalien, concentrirte Säuren, Chlor u. a., tödten die Muskelreizbarkeit an der betroffenen Stelle augenblicklich. Stoffe, welche die Reizbarkeit der Muskeln erhöhen, kennt man nicht. Oxygenirte Salzsäure und kohlensaure Alcalien machten zwar in v. Humboldt's Versuchen, wenn die Nerven damit befeuchtet waren, die Präparate fähiger zur galvanischen Irritation. Diese Wirkung ist jedoch, wie Pfaff gezeigt hat, nicht eine Folge der wirklichen Erhöhung der thierischen Reizbarkeit, sondern der galvanischen Processe in der geschlossenen Kette. Vergl. oben Bd. I. p. 608.

Die Zusammenziehungskraft der Muskeln steht unter den allgemeinen Gesetzen der thierischen Reizbarkeit. Werden sie selten aus inneren Reizen bewegt, so nehmen sie an Kraft ab; aber auch auf eine jedesmalige bedeutende Anstrengung wird die Fähigkeit zur Wiederholung derselben für den Augenblick geringer, und es tritt Ermüdung ein. Erregung und Ruhe sind also für die Erhaltung und Steigerung der Muskelkraft gleich nöthig. Durch die Erregung scheint die Natur bestimmt zu werden, die zur Ernährung und Bildung von Muskelgewebe nöthigen materiellen Veränderungen in der Ruhe den erregten Muskeln vorzugsweise zuzuwenden. Gleichwohl ist die Ermüdung nach jeder Anstrengung nothwendig, weil die Action und Reizung der Muskeln selbst unter materiellen Veränderungen ihres Gewebes erfolgt. Siehe oben Bd. I. p. 52. Diese Thatsachen lassen sich selbst noch in den Muskeln eines getödteten Frosches einigermaassen beobachten. Die Zusammenziehungen seiner Muskeln auf den galvanischen Reiz lassen sich durch mässige und periodische Anwendung desselben verstärken, wenn sie anfangs geringe waren, aber sie lassen sich auch schnell durch zu häufige Reizungen erschöpfen; und wenn wiederholte Reizungen die Abnahme der Contractionen bedingen, so stellt die Ruhe oft einigermaassen die Fähigkeit zu einer Contraction wieder her.

Die Zusammenziehung der Muskeln, welche sie fester und härter macht, ist allein der active Zustand derselben, im verlängerten Zustande sind sie erschlafft. Die Annahme einer activen Expansion der Muskeln lässt sich auf keine Weise rechtfertigen. Oesterreicher hat sie durch einen sinnigen Versuch recht gut widerlegt. Er hat nämlich die Beobachtung gemacht, dass das aus einem lebenden Frosche ausgeschnittene Herz, mit einem kleinen Gewichte beschwert, das Gewicht erhebt, wenn es sich zusammenzieht, bei der Erweiterung des Herzens aber sinken lässt. Man darf sich übrigens die lebenden Muskeln nie ganz er-

schlafft denken. Sie sind beständig dem Princip der Nerven auch im Zustande der Ruhe ausgesetzt; diess sieht man deutlich in dem Zurückziehen der durchschnittenen Muskeln, an den leisen Bebungen blossgelegter Muskeln und an der Verstellung des Gesichts und der Zunge bei halbseitiger Lähmung.

Beobachtet man einen Muskel im Moment der Zusammenziehung, so sieht man, dass er, indem er sich verkürzt, sich in demselben Grade verdickt, und oft sieht man deutlich genug eine wellenförmige blitzschnelle Biegung seiner Bündel. Da die Muskeln bei ihrer Zusammenziehung fester werden, so liegt der Gedanke nahe, dass sie sich bei der Zusammenziehung zugleich verdichten und also ein kleineres Volumen einnehmen, obgleich die grössere Festigkeit des zusammengezogenen Muskels auch von der Stärke der Anziehung gewisser Theilchen des Muskels gegen einander herrühren kann. Ohne der älteren unvollkommneren Beobachtungen von Glisson, Swammerdam (Haller *elem. lib. XI. S.* 2. §. 22.) zu gedenken, erwähne ich bloss die genaueren, in neuerer Zeit hierüber angestellten Untersuchungen. Man bringt zu diesem Zweck die contractilen Theile in eine mit Wasser gefüllte Röhre, die in ein feines Röhrchen ausläuft, woran man den Stand des Wassers im Moment der durch Galvanismus erregten Contraction beobachtet. Barzellotti, Mayo, Prevost und Dumas, welche an kleineren Fleischmassen operirten, fanden keine Veränderung des Niveaus, welche hingegen von Gruithuisen und Erman (Gilb. *Ann.* 40.), von Letzterem in sehr geringem Grade, beobachtet wurde. Erman brachte in ein Glasgefäss die untere Hälfte eines Aals ohne die Eingeweide, einen Metalldrath an das Rückenmark, den zweiten an das Fleisch des Fisches, und richtete diese so ein, dass sie mit den Polen einer galvanischen Säule verbunden werden konnten. Das Gefäss wurde dann mit Wasser gefüllt, so dass auch eine enge Glasröhre, in welche der Apparat oben endete, damit gefüllt war. Beim Schliessen der Kette und bei der Zusammenziehung der Muskeln fiel das Wasser in der engen Röhre jedesmal um 4—5 Linien, und stieg wieder bei der Oeffnung. Die Verdichtung der Muskelmasse ist daher so unbedeutend, dass man hierauf bei der Erklärung der Phänomene der Muskelcontraction gar nicht rechnen kann. Vielleicht hatte diese Verdichtung auch allein ihren Grund in der Compression der durchschnittenen und daher mit Luft gefüllten kleinen Gefässe der Muskeln; sie erklärt sich wenigstens hieraus vollkommen. Wenn diese Versuche wiederholt werden, so darf das Stück des Aals nur unter Wasser zubereitet, und muss ohne Berührung der atmosphärischen Luft in die Röhre gebracht werden. Die Ursachen, welche die Verkürzung des Muskels bei der Zusammenziehung bewirken, können dreierlei seyn.

1. Zickzackförmige Biegung der Muskelbündel. Ein Phänomen, das man an den sich contrahirenden Muskeln mit blossen Augen sehen kann, und das man mit der Loupe sorgfältiger beobachtet, ist, dass die Bündel der Muskelfasern zickzackförmige Biegungen machen. Prevost und Dumas (*Journ. de physiol.* 3.

311.) haben sich mit dem Studium dieses Phänomens abgegeben. Prevost und Dumas betrachten die Muskelfasern als zusammengesetzt aus einer gewissen Anzahl kleiner gerader Linien, die fähig sind gegen einander sich zu neigen. An den Schenkelmuskeln eines Frosches betrug die Länge dieser Linien 10—12 Millim., die Distanz der durch die winkelförmige Beugung einander genäherten Endpuncte der Linien 16—17 Millim., 16 solcher Linien betrugen zusammen 172,5 Millim.; diess drückt die Länge dieser Muskelpartie im Zustande der Ruhe aus. Die Distanz der Winkel im gereizten Zustande dieser Linien betrug 130 Millim.; die Verkürzung betrug also 0,23 auf eine Muskelfaser. Prevost und Dumas massen ferner die Verkürzung desselben Muskels im Ganzen bei der Contraction; diese betrug 0,27. Da diese Messungen nahe übereinstimmen, so schlossen sie, dass die Verkürzung der Muskeln durch ihre Zusammenziehung wirklich von jenen Winkeln, welche die 10—12 Millim. langen Theile der Muskelfasern machen, herrühre. Mehrere Gründe machen indess wahrscheinlich, dass die von Prevost und Dumas beobachtete und so leicht mit blossen Augen zu erkennende Biegung der Muskelfasern in Winkel nicht die einzige und vielleicht nicht einmal die wesentlichste Ursache ihrer Verkürzung ist.

2. Lauth hat schon einige hieher gehörige wichtige Beobachtungen gemacht. *Institut.* 57. 70. 73. Mueller's *Archiv* 1835. *p.* 4. Indem er unter dem Mikroskope einen noch reizbaren Muskel einer galvanischen Säule aussetzte, beobachtete er, dass die Zusammenziehung auf eine zweifache Weise geschah. Die stärkste Zusammenziehung war das Hervorbringen von Zickzackkrümmungen in der ganzen secundären Faser; war aber die galvanische Wirkung geringer, so bemerkte er eine Verkürzung der ganzen secundären Faser ohne Zickzackbiegung. In diesem Falle bietet die Oberfläche der secundären Faser (Bündelchen), anstatt glatt zu seyn, in ihrem ganzen Umfange Querrunzeln (rides) dar, welche man sonst auch in den im Zickzack gebogenen Fasern und ganz unabhängig von dieser letztern Krümmung bemerkt. Es ist demnach augenscheinlich, saugt Lauth, dass diese mindere Verkürzung der Contraction der Primitivfasern zuzuschreiben ist, welche Contraction nach Lauth durch die Annäherung der Kügelchen, die sie bilden, erhalten wird. Bei der Untersuchung der primitiven Muskelbündelchen der Insecten habe ich eine Art von Querlinien beobachtet, welche wohl von den dicht hinter einander folgenden Querlinien unterschieden werden müssen. Man sieht die Querlinien, welche ich hier meine, am deutlichsten an primitiven Muskelbündelchen von Insecten, die in Weingeist gelegen haben, öfter aber auch stellenweise an frisch untersuchten Muskelbündelchen der Insecten. Diese (secundären) Querlinien sind sehr viel weiter von einander entfernt als die primitiven Querlinien, aber ihre Distanz ist regelmässig, und das Bündelchen sieht an den in Weingeist aufbewahrten Muskeln oft wie ganz gleichförmig gegliedert aus; auch brechen die primitiven Bündelchen leicht an den secundären Querlinien bei Muskeln, die in Weingeist aufbewahrt worden, ab. Die

Entfernung der secundären Linien ist etwas weniger als halb so gross als die Breite der primitiven Bündel der Insecten. 5 grössere Querstreifen hatten zusammen eine Distanz von 0,010, die Distanz zweier ist also 0,002 Engl. Lin. Meist waren die secundären Querlinien gerade, zuweilen ein wenig schief oder gebogen; immer aber an grossen Strecken der Bündelchen parallel. An den primitiven Bündelchen der im Weingeist aufbewahrten Muskeln sieht man deutlich, dass das primitive Bündel an den Querlinien eingeschnürt, zwischen den Querlinien bauchig ist; die Einschnürung und der bauchige Theil sehen bei verschiedener Beleuchtung dunkel oder hell aus. Zuweilen ist die Einschnürung hell, der Bauch dunkler, zuweilen, bei kleiner Veränderung der Sehweite, umgekehrt. Der helle Theil an der Querlinie der Einschnürung betrug 0,0007 Engl. Lin., der dunkle des Bauches 0,0013. Diese Einschnürungen rühren keinesweges von einer blossen Runzelung der Scheide der primitiven Bündelchen her. Denn man kann deutlich die Scheide der primitiven Bündelchen am Rande als hellen Saum unterscheiden, und dieser helle Saum ist es nicht allein, der die Einschnürungen zeigt; man sieht oft sehr deutlich, dass die Muskelsubstanz des Bündelchens, die aus dem Fascikel primitiver Fibern mit primitiven Querstreifen besteht, eben so eingeschnürt als die Scheide ist. Da nun die Muskelfasern der Insecten mit denen der höheren Thiere durch die Form ihrer Fasern und die primitiven Querlinien übereinstimmen, so ist die Erscheinung der secundären Querlinien an den ersteren von Wichtigkeit für die Erklärung der Zusammenziehung der Muskeln, und da die secundären Querstreifen an einzelnen Stellen fehlen, während sie an anderen vorhanden sind, so wird es dadurch noch wahrscheinlicher, dass sie ein Ausdruck der Zusammenziehung der primitiven Bündel sind. Diese Art der Zusammenziehung würde sich von der zickzackförmigen Zusammenziehung der grössern Bündel darin unterscheiden, dass das Bündelchen keine abwechselnden Biegungen macht, sondern dass die primitiven Fasern zwischen zwei secundären Querlinien aus einander weichen, und dadurch die Erweiterung des bauchigen Theiles bilden. Natürlich kann ein Bündel von Fasern auf doppelte Art sich verkürzen: 1) durch abwechselnde Biegung des ganzen Bündels, wobei die Fasern in den Biegungen parallel bleiben, und diess findet bei der sichtbaren Verkürzung der grössern Bündel statt, und 2) durch bauschförmiges Auseinanderweichen der Fasern des Bündels zwischen aliquoten Quertheilungen des Bündels. Diese Art der Zusammenziehung kommt sehr wahrscheinlich neben der erstern an den Muskeln der Insecten vor, und vielleicht auch an denen der höheren Thiere.

3. Es ist möglich, dass die Muskelfasern der zweiten Classe an dem organischen Theile des Leibes sich auf die erste und die zweite Art zugleich zusammenziehen; an den Muskelfasern des animalischen Systems mit varicösen Anschwellungen ist indess noch eine dritte Art der Contraction in noch kleineren Theilchen möglich, nämlich durch Annäherung der Anschwellungen

und Verkürzung der dünneren Stellen zwischen den Varicositäten der Primitivfasern. Dass eine solche Zusammenziehung stattfinde, lässt sich weder behaupten noch widerlegen. Da die Varicositäten in der ganzen zweiten Classe der Muskeln fehlen, so würde jede Theorie der Muskelcontraction fehlerhaft seyn, welche von diesen Anschwellungen der Primitivfasern allein ausgeht. Indess kann diese Annäherung der Kügelchen sehr gut neben den übrigen Zusammenziehungen, welche sich in den secundären und primitiven Bündeln zeigen, in den animalischen Muskeln vorkommen; und es ist sogar aus einigen Gründen wahrscheinlich, dass sie wirklich hier stattfindet. Dafür spricht nämlich der Umstand, dass die Varicositäten selbst zur bauschförmigen Contraction aliquoter Theile der Bündelchen eben so wenig als zur zickzackförmigen Zusammenziehung der Bündel nöthig sind; indem auf jede Biegung eine ganze Reihe von Varicositäten kommen; zweitens spricht dafür der positive Grund, dass die Varicositäten der Fasern und die primitiven Querlinien der Bündelchen des animalischen Systems nach Schwann's Untersuchungen an neben einander liegenden Bündelchen nicht immer gleich weit von einander entfernt sind. Weiter lässt sich diese Hypothese nicht führen. Wenn aber eine solche Annäherung der Varicositäten stattfinden sollte, so könnte sie auf zweierlei Art denkbar stattfinden, entweder durch Anziehung der Anschwellungen oder Kügelchen gegen einander, wenn letztere ganz solid sind, oder durch Vergrösserung der Kügelchen durch Anhäufung eines Fluidums in den Varicositäten, auf Kosten der verbindenden Zwischenstellen, wenn nämlich die Primitivfasern der Muskeln hohl seyn und ein Fluidum enthalten sollten. Hierüber mehr zu sagen ist überflüssig und gefährlich, da man sich von der Basis der Facta entfernen müsste. Es ist bei dem jetzigen auch noch so vollkommenen Zustande der Instrumente und vielleicht niemals möglich zu entscheiden, ob diese so unendlich zarten Fäden, wie die primitiven Muskelfasern sind, solid oder hohl sind, und die Vorstellungen und kühnen Hypothesen der Alten hierüber hier zu wiederholen, kann nicht die Aufgabe dieses Werks, sondern der Geschichte der physiologischen Hypothesen seyn. Haller *elem. lib. S.* 3.

Rigor mortis. Nysten a. a. O. Guentz *der Leichnam des Menschen. Leipz.* 1827. Burdach *Physiologie. Bd.* 3. Nicolai, Rust's *Magazin.* 34. 2. A. G. Sommer *diss. de signis mortem hominis absolutam indicantibus. Pars* 2. *Havniae* 1833. 8. Die Todtenstarre, Rigor mortis, ist eine nach dem Tode durch die Muskeln bewirkte Steifigkeit der Glieder, welche zu einer gewissen Zeit eintritt und aufhört. Sie beginnt gewöhnlich nach Sommer am Halse und Unterkiefer, geht dann auf die oberen Extremitäten von oben nach abwärts, dann auf die unteren Extremitäten über; seltener beginnt sie in den unteren Extremitäten, oder in beiden zugleich. Sommer fand in 200 Fällen nur einmal die Ausnahme, dass der Rigor nicht am Halse begann. Die Muskeln fühlen sich im Rigor, Beuger sowohl als Strecker, fester und dichter an. Nach Sommer findet beim Rigor sogar eine leise Bewegung statt. Sommer fand die Behauptung von Nysten unrich-

tig, dass bei der Steifigkeit immer die Lage der Glieder bleibe, wie sie vorher gewesen. Er fand vielmehr, dass der Unterkiefer, wenn er auch im Tode vom Oberkiefer abstand, später zu dem Oberkiefer fest angezogen wurde. Er fand auch, dass an den Extremitäten eine stärkere Beugung erfolge, so z. B. dass der Daumen gegen die Handfläche angezogen, oder gar der Vorderarm ein wenig gebeugt wurde. Wird der schon in einem Theile ganz entwickelte Rigor mit Gewalt aufgehoben, so befällt er diesen Theil nicht wieder; geschieht diess aber während der Entwickelung des Rigors, so tritt er gleichwohl nach Sommer wieder ein. Ist z. B. am ausgestreckten Arme der allgemeine Rigor schon vorhanden, aber noch nicht ganz entwickelt, und wird die Beweglichkeit des Ellenbogengelenks gewaltsam hergestellt, so wird es gleichwohl nach einiger Zeit wieder unbeweglich. Die Erschlaffung beginnt gewöhnlich zuerst wieder am Kopfe, dann an den oberen, am spätesten an den unteren Extremitäten. Der Rigor tritt nach Sommer's zahlreichen Beobachtungen (an 200 Leichen), die bei den mannigfachen Differenzen von anderen Beobachtern wohl das meiste Vertrauen verdienen, nie schneller als 10 Minuten nach dem Tode, nie später als nach 7 Stunden ein. Die Dauer ist nach Nysten und Sommer im Allgemeinen um so länger, je später der Rigor mortis eintritt. War die Muskelkraft vorher ungeschwächt, wie bei Menschen, die an Asphyxie umgekommen, so tritt der Rigor auch später ein und dauert länger. Nach acuten Krankheiten, mit grosser Niedergeschlagenheit der Kräfte, entsteht die Todtenstarre schneller, nach dem Typhus, nach Sommer, z. B. zuweilen schon nach 15—20 Minuten nach dem Tode. Auch nach chronischen Krankheiten, welche die Kräfte erschöpft haben, wird dasselbe beobachtet. Nach plötzlichen Todesarten von acuten Krankheiten dauert der Rigor nach Sommer auch dann länger, wenn er selbst schnell eingetreten. Hunter und Himly bemerken, dass bei einem vom Blitz Getödteten gar kein Rigor erfolge; Sommer sah ihn indess bei einem durch den electrischen Schlag getödteten Hunde eben so schnell als gewöhnlich eintreten. Auch Orfila's Bemerkung, dass nach Asphyxie von Kohlendunst der Rigor spät eintrete, fand Sommer nicht bestätigt; derselbe bemerkt, dass, wenn er bei Asphyctischen mitunter spät eintrete, diess eher von dem dem Tode vorangehenden Scheintode, als von der Todesart abzuleiten sey. Auch dass die Todesstarre nach narcotischen Vergiftungen fehle, fand Sommer bei seinen Versuchen an Thieren eben so wenig als Nysten bestätigt. Schon Nysten beobachtete, dass die Todtenstarre auch die gelähmten Muskeln bei der Hemiplegie gleich stark befalle. Diess bestätigt Sommer mit dem Zusatze, wenn die Paralysis nicht mit einer bedeutenden Veränderung in der Ernährung oder mit Wassersucht der Muskeln selbst verbunden gewesen; in welchem Falle Sommer einmal einen gänzlichen Mangel des Rigors auf der gelähmten Seite beobachtete. Nysten bemerkte, dass der tetanische Krampf bei am Tetanus Verstorbenen mit oder nach dem Tode schnell aufhöre, dass darauf der Körper einige Stunden schlaff bleibe, ehe der Rigor eintrete; Som-

MER sah indess in einem Fall von Tetanus den tetanischen Krampf an den Kiefern unmittelbar in den Rigor sich fortsetzen. Bei Neugebornen und Greisen tritt der Rigor im Allgemeinen schneller ein, ist nicht so stark und verschwindet früher. Gegen NYSTEN beobachtete SOMMER in vielen Fällen, dass der Rigor schon vor der vollkommenen Erkaltung und zuweilen schon eintritt, wenn die Wärme sich noch erhält. Die Todtenstarre tritt in der Luft und im Wasser ein, doch wird eine in Wasser von 0—15° untergetauchte Leiche stärker und länger vom Rigor befallen, als in der Luft von gleicher Temperatur. In Hinsicht des Einflusses des Gehirns und Rückenmarks auf die Entwicklung des Rigors stimmt SOMMER NYSTEN's Beobachtungen bei, dass nämlich die Zerstörung der Centraltheile des Nervensystems keinen Einfluss auf die Entwicklung, den Grad und die Dauer der Todtenstarre habe.

Der Sitz des Rigors liegt nach NYSTEN in den Muskeln; denn er bleibt, wenn man auch die Häute und selbst die Seitenbänder der Gelenke durchschnitten, verschwindet aber nach Durchschneidung der Muskeln. Diess bestätigt SOMMER, bemerkt aber, dass, wenn auch ein Glied nach Durchschneidung der rigiden Muskeln seine Beweglichkeit wieder erhält, die durchschnittenen Muskelstücke gleichwohl fest und rigide bleiben, was schon RUDOLPHI beobachtete. NYSTEN hatte die Todtenstarre von der organischen Contractilität der Muskelfasern abgeleitet. Unter seinen Gründen dafür ist der wichtigste, dass, wenn der Rigor bei der grössten Beugung eines Gliedes eintrete, die Beugemuskeln dann dieselbe Beschaffenheit haben, als wenn sie willkührlich zusammengezogen sind; und dass sie statt erschlafft, vielmehr verkürzt und verdickt erscheinen. SOMMER hingegen erkennt diese Thatsache nicht an. Befinde sich der eine Arm eines Todten vor dem Eintritt des Rigors in Beugung, der andere in Streckung, so werde auch der Biceps des extendirten Armes rigide, obgleich sein Rigor nicht der vitalen Contraction ähnlich sei. Zunächst fragt sich hier, ob die Muskeln zur Zeit des eingetretenen Rigor selbst noch Spuren von organischer Contractilität auf angebrachte Reize zeigen. NYSTEN hatte schon sehr schwache Spuren derselben in diesen Fällen zuweilen beobachtet. SOMMER sah in der Regel keine Wirkung auf angebrachte Reize; zuweilen sah er ganz deutliche Zusammenziehungen, obgleich diese keinen Einfluss auf die Lage der Glieder hatten. Im Allgemeinen tritt das Phänomen des Rigors um so früher ein, je schneller die Erregbarkeit der Muskeln abstirbt, so z. B. am frühesten bei den Vögeln; bei den Amphibien, wo die Erregbarkeit der Muskeln lange dauert, tritt der Rigor spät ein und dauert kürzer. SOMMER leitet den Rigor von einer physischen (nicht organischen) Contractilität der Muskeln ab. Denn, sagt er, das Phänomen trete dann ein, wenn alle Lebensphänomene sich vermindert haben; eine ähnliche physicalische Contraction zeige sich nach dem Tode auch in nicht musculösen Theilen, in der Haut, im Zellgewebe, in den Häuten und Bändern. ORFILA, BECLARD und TREVIRANUS leiteten den Rigor von der Gerinnung des Blutes ab. SOMMER hält diese Erklärung für

unrichtig, indem ein starker Rigor zuweilen vor der Gerinnung des Blutes eintrete, oder wenn die Gerinnung unvollkommen sey. Bei Ertrunkenen, wo der Rigor stark sey, bleibe oft das Blut flüssig; eben so bei Menschen und Thieren, die durch Blausäure umgekommen. Gleichwohl erkennt Sommer die Aehnlichkeit beider Phänomene an; die Gerinnung des Blutes sey der Tod des Blutes, der Rigor der Tod der Muskeln. Mir scheint die Erklärung des Phänomens durch die Gerinnung des Blutes in den kleinen Gefässen noch keinesweges widerlegt. Es lässt sich nicht bezweifeln, dass durch die Gerinnung des Blutes und der Lymphe in den kleineren Blut- und Lymphgefässen sich die Cohäsion der Muskeln vermehren müsse, und es frägt sich nur, ob diese Vermehrung der Cohäsion allein zur Bewirkung der Erscheinungen des Rigor hinreicht. Obgleich diess nicht bewiesen werden kann, so sieht man doch bei dieser Erklärung sehr gut ein, wie in Folge der Gerinnung des Blutes später auch wieder eine Verminderung der dadurch vermehrten Cohäsion eintreten müsse. Die Gerinnung des Blutes und der Lymphe ist nämlich anfangs so, dass die ganze Masse derselben fest und gallertartig wird. Später, und oft sehr spät erst, zieht sich das Gerinnsel des Faserstoffs, welches die flüssigen Theile fein vertheilt einschliesst, so zusammen, dass das Serum ausgetrieben wird. Sobald dieses in dem geronnenen Blute und der Lymphe der kleinen Gefässe geschehen ist, muss die Cohäsion aller Theile sich wieder vermindern. Die Gerinnung des Blutes und die Gerinnung des Fettes nach dem Tode der warmblütigen Thiere machen die Theile cohärenter, aber nur durch die erstere wird die vermehrte Cohäsion später wieder aufgehoben, während das Fett seinen geronnenen Zustand behält. Ich will indess die Erklärung des Rigor aus der Gerinnung des Faserstoffes im Blute und in der Lymphe keineswegs als die richtige und als die meinige aufstellen, vielmehr nur aussprechen, dass mir der Stand der Sache als solcher erscheint, dass diese Erklärung für jetzt weder entschieden bewiesen, noch entschieden widerlegt werden kann. Sollte sich dereinst sicherer beweisen lassen, dass der Rigor von einer physicalischen Contractilität der absterbenden Muskelfasern abzuleiten sey, die mit der Zersetzung aufhöre, so würde das Phänomen mehr Aehnlichkeit mit der physicalischen Zusammenziehung des schon geronnenen Faserstoffs zu einem kleinern und festern Körper haben.

IV. Capitel. Von den Ursachen der thierischen Bewegung.

Bei der Untersuchung der Ursachen der Bewegung von festen organischen Theilchen muss man zuerst die Bewegungen nervenloser Theile und solcher Theile unterscheiden, welche unter Wechselwirkung der contractilen Gewebe mit dem Nervensysteme erfolgen. Im ersten Falle sind die Bewegungen der Pflanzen, und vielleicht einiger nicht musculöser Theile der Thiere.

Im einfachsten Zustande beobachten wir die ersten Spuren organischer Contractilität an den Oscillatorien, jenen einfachen unter einander verfilzten Fäden, in denen keine Zusammensetzung der Structur gesehen wird, und welche aus einer, mit linear dicht auf einander folgenden Körnchen gefüllten Röhre bestehen. Diese Körnchen werden zu gewissen Zeiten der Entwickelung dieses Vegetabile aus der Röhre ausgestossen, die dadurch ihre Contractilität nicht verliert. Die oscillatorischen langsamen, aber deutlichen Biegungen dieser Fäden habe ich unter dem Mikroskope bei Herrn Meyen gesehn; sie sind für die Theorie der organischen Bewegung wegen der Einfachheit der Structur von besonderer Wichtigkeit. Wenn sich diese Fäden zu bewegen anfangen, krümmen sie sich unmerklich und langsam nach einer Seite hin, und gehen nach einiger Zeit wieder zurück und gar zur entgegengesetzten Seite hin, wobei die im Innern enthaltenen Körnchen vollkommen ruhig bleiben. Da diese Bewegungen ohne Anziehung von Seiten nahe gelegener Fäden erfolgen, und da im Innern der Fäden keine Saftcirculation oder Ortsveränderung der Säfte bemerkt wird, so können wir uns den Process dieser Contractionen nicht anders vorstellen, als dass durch eine sich bald auf dieser, bald auf jener Seite des Fadens oder der Röhre steigernde Erregbarkeit die Theilchen der Wände des Fadens sich annähern, dass die Wände bald auf der einen, bald auf der andern Seite sich verdichten, oder dass die Wände bald hier, bald dort mehr Wasser anziehen, festhalten und damit aufquellen. Die Idee einer Kräuselung wird durchaus durch den Augenschein widerlegt. Die spontanen, auch ohne Reize erfolgenden rhythmischen Bewegungen der Blätter des Hedysarum gyrans zeigen uns dasselbe Phänomen an einer höhern Pflanze. Auch hier muss sich die Erregung aus innern Ursachen bald mehr auf der einen, bald auf der andern Seite des contractilen Gewebes der Basis der Blattstiele steigern, und entweder eine Annäherung kleiner Theilchen, oder ein Aufquellen der einen und andern Seite von innern Flüssigkeiten herbeiführen. Bei der auf Reize erfolgenden Bewegung der Blattstiele der Mimosa pudica durch Krümmung des Wulstes der Blattstiele ist diese Erregung auch durch äussere Reize bestimmbar, und es ist hier wahrscheinlicher, dass die Bewegung durch Anziehung der von Dutrochet entdeckten, im Zellgewebe des Wulstes linear geordneten Kügelchen entsteht, die selbst wieder nach Dutrochet hohl sind. Die Ursachen der Wimperbewegung der Thiere zu untersuchen, ist noch lange nicht der Zeitpunct. Wir kennen nicht einmal den Mechanismus, durch welchen sie erfolgt. Das Einzige, was feststeht und sie den vorher erwähnten Bewegungen näher stellt, ist ihre grosse Unabhängigkeit von dem Nervensystem. An diese Bewegungen, welche von der Wechselwirkung mit einem Nervensystem unabhängig sind, schliessen sich einigermaassen schon die Bewegungen im Zellgewebe, oder leimgebenden contractilen Gewebe der Thiere an, die mit Leichtigkeit auf die das Gewebe selbst treffenden Reize, namentlich Kälte und Wärme und mechanische

Reize, erfolgen. Diese haben auch noch das Aehnliche mit den Pflanzenbewegungen, dass beide von dem electrischen Reize nicht merklich erregt werden. Doch sind jene Bewegungen vom Nervensysteme der Thiere nicht mehr ganz unabhängig. Die Contractilität der Haut und der Tunica dartos äussert sich nicht bloss auf äussere Reize, sondern öfter auch aus innern im Nervensystem liegenden Gründen. Die Dartos ist oft gerunzelt, wo nervöse Reizung in den Genitalien unverkennbar ist, wo auch der Cremaster angezogen ist, und die Contractilität der Haut äussert sich oft genug unter eben so offenbaren Affectionen des Nervensystems, z. B. mit Schauder (als Gefühl und als Muskel-Bewegung zugleich.) Da wir indess bei diesen schwer zu analysirenden Bewegungen die Wechselwirkung mit dem Nervensystem nicht leicht erforschen werden, so ist unsere ganze Aufmerksamkeit auf die Muskeln gerichtet, bei welchen die entschiedenste Wechselwirkung des contractilen Gewebes mit dem Nervensystem klar ist. Die Art, wie die Verkürzung des leimgebenden contractilen Gewebes erfolgt, ist wahrscheinlich Kräuselung, durch Anziehung aliquoter Theilchen der Fasern gegen einander.

Die Fähigkeit der Muskeln sich zusammenzuziehen, steht mit zweierlei Einflüssen in dem innigsten Zusammenhange, mit dem Einflusse des Blutes und der Nerven.

1) Einfluss des Blutes. Stenson hat zuerst gezeigt, dass die Muskeln ihre Bewegungen einstellen, wenn der Strom des Blutes (namentlich des arteriellen Blutes) zu ihnen gehemmt ist. Man beobachtet dieses Phänomen zuweilen auch nach der Unterbindung eines grossen Arterienstammes beim Menschen. Die Bewegungen der Muskeln auf den Einfluss des Willens durch das Nervensystem verlieren sich zum Theil oder ganz, bis sich allmählig der Collateralkreislauf ausgebildet hat. Arnemann, Bichat, Emmert haben diess bestätigt. Siehe das Nähere in Treviranus *Biologie*. 5. *p*. 281. Segalas (*Journ. d. physiol.* 1824.) beobachtete nach Unterbindung der Aorta abdominalis bei Thieren eine Schwäche der Hinterbeine, so dass das Thier nach 8—10 Minuten die Hinterbeine kaum hinter sich her schleppen konnte. Ob das Blut bei dieser nothwendigen Wechselwirkung mit den Bewegungsorganen mehr nöthig ist, in wiefern es die Contractilität der Muskeln oder den Einfluss der Nerven, welche dem Willen dienen, erhält, ist von den Beobachtern nicht beachtet worden. Treviranus erklärt sich gegen Percy für die Nothwendigkeit des Blutes für die Muskeln, insofern das Zerfallen der Arterienstämme der Glieder in viele anastomosirende Reiser bei einigen viel kletternden Thieren (Lemur, Bradypus) für die Erhaltung eines ungestörten Laufes des Blutes bei den Anstrengungen der Muskeln berechnet zu seyn scheint *). Wahrscheinlich

*) Die Wundernetze kommen eben so oft an nicht musculösen Theilen als an musculösen vor, zu den ersteren gehört das Wundernetz der Carotis interna der Wiederkäuer, und das von Eschricht und mir entdeckte grösste aller Wundernetze an der Pfortader des Thunfisches.

wird es in beider Beziehung nothwendig seyn, indess ist es gewiss, dass selbst nach gänzlichem Stillstande des Blutumlaufes bei getödteten Thieren und an abgeschnittenen Gliedern sowohl die Nerven noch fähig sind, gereizt, die Muskeln zur Contraction zu bestimmen, als auch die Muskeln fähig sind, unmittelbar gereizt, sich zusammenzuziehen. Die Unterbindung einer Arterie hemmt den Einfluss des Blutes nicht allgemein, Blut ist dabei in den kleinsten Gefässen der Muskeln noch vorhanden; die Unterbindung hemmt aber den Zufluss neuen arteriellen Blutes zu den Muskeln und Nerven. Segalas Versuche zeigen auch, dass bei voller Anfüllung der Capillargefässe durch blosse Hemmung der Circulation nach Unterbindung des untersten Theils der Vena cava die Bewegungskraft vermindert wird. Es ist also gewiss, dass das arterielle Blut in den Bewegungsorganen eine Veränderung erleidet, wodurch es venös geworden, die Fähigkeiten derselben nicht mehr so wie vorher unterhält, und dass die Bewegungsorgane nur unter dem beständigen Einflusse des arteriellen Blutes ihre volle Contractilität behalten. Man sieht diess auch aus den bei den Blausüchtigen beobachteten Erscheinungen, bei welchen wegen Offenbleibens des ovalen Loches im Septum atriorum, oder wegen Offenbleibens des Ductus Botalli, oder wegen Enge der Arteria pulmonalis etc. beide Blutarten gemischt werden, oder das arterielle Blut sich nur unvollkommen bildet. Diese Menschen sind zu grösseren Muskelanstrengungen unfähig. Bei den Amphibien ist der Einfluss des Blutes auf die Nerven und Muskeln weniger nothwendig zur Ausführung der willkührlichen Bewegungen. Die Frösche behalten den Einfluss des Willens auf ihre Muskeln nach Ausschneidung des Herzens; ja sie bewegen sogar ihre bis auf die Nerven allein amputirten Glieder willkührlich; ich fand auch die Muskeln eines Frosches noch reizbar, selbst nachdem ich alles Blut durch einen in die Arterien getriebenen und aus den durchschnittenen Venen ausfliessenden Wasserstrom aus den Gefässen ausgetrieben hatte.

2. *Einfluss der Nerven auf die Contractionsfähigkeit der Muskeln.* Von der Wirkung der Nerven auf die Erregung der Muskeln zu Bewegungen muss man wohl ihren Einfluss auf die Erhaltung ihrer Contractionsfähigkeit unterscheiden. Haller betrachtete die Contractionskraft der Muskeln als eine ihnen, unabhängig von den Nerven, zukommende Lebenseigenschaft, die er Irritabilität nannte. Fontana, Soemmerring, Nysten, Bichat u. A. folgten Haller. Dieser grosse Physiolog lehrte, dass alle Reize auf die Muskeln wirkend, ihre Zusammenziehungskraft anregen, und nicht zuerst durch die Nerven auf die Muskeln zu wirken brauchen, dass der Reiz der Nerven vielmehr nur eine Species unter den vielen Reizen der Contractionskraft der Muskeln sey. Seine und seiner Nachfolger Beweise sind längst erschüttert. Das Herz bewegt sich nicht unabhängig von allem Nerveneinfluss, und seine Nerven sind nicht, wie man ehemals glaubte, unempfindlich für die äusseren Reize. Siehe oben Bd. I. p. 181. Das Herz verhält sich nicht anders als andere vom Nervus sympathicus abhängige Muskeln. Nicht allein wird das Herz

durch Galvanismus zu Contractionen gereizt, wie v. Humboldt, Pfaff, Fowler, Wedemeyer und ich sahen. Humboldt und Burdach haben auch den Herzschlag durch Reizung der Nervi cardiaci verändert. Siehe oben Bd. I. p. 181. 647. Am deutlichsten lässt sich nach meinen Versuchen der motorische Einfluss des N. sympathicus auf die organischen Muskeln an dem Ganglion coeliacum erweisen. Wird nämlich nach Eröffnung der Bauchhöhle eines Kaninchens der Zeitpunct abgewartet, wo die an der Luft sich verstärkenden peristaltischen Bewegungen wieder nachlassen, und dann das Ganglion coeliacum mit Kali causticum betupft, so folgen nach einigen Secunden sehr verstärkte peristaltische Bewegungen. Auch Scarpa's neuere Meinung, dass der N. sympathicus gar nicht mit den vorderen oder motorischen Wurzeln der Spinalnerven und den motorischen Hirnnerven zusammenhänge, ist durch meine eigenen Untersuchungen und diejenigen von Wutzer, Retzius, Mayer hinlänglich widerlegt. Siehe oben Bd. I. p. 650. Aus allem diesem geht jedoch nur hervor, dass die Nerven des Herzens eben so den motorischen Einfluss leiten, als die Nerven anderer Muskeln, und die Frage, ob diese Nerven am Herzen des unversehrten Körpers und am ausgeschnittenen Herzen zur Erhaltung der Contractionskraft desselben nothwendig sind, bleibt hiebei ungelöst.

Andere Physiologen, wie Whytt, A. Monro, Prochaska, Legallois, Reil, bestritten die Haller'sche Lehre und behaupteten, dass die Bewegungskraft von der Wechselwirkung mit den Nerven abhänge. In diesem Falle würde die Contractilität der Muskeln sich wesentlich von der Contractilität der Pflanzen unterscheiden, welche ohne Mittelwirkung von Nerven von den äusseren Reizen unmittelbar angeregt wird. Diese Männer beziehen sich darauf, dass die Nerven gereizt die Bewegung der Muskeln hervorrufen, dass die Narcotica, welche doch vorzugsweise auf das Nervensystem wirken, die Contractilität der Muskeln vernichten, dass die Zerstörung des Gehirns und Rückenmarkes die Contractilität der Muskeln vermindere. Man muss indess gestehen, dass diese Beweise nichts weniger als triftig sind. Die Muskeln bleiben nach Zerstörung des Gehirns und Rückenmarkes so lange reizbar, als überhaupt nach dem Tode die Reizbarkeit der Muskeln dauert, und die Vergiftung eines Thieres durch Narcotica vernichtet nur den Einfluss des Gehirns und Rückenmarkes auf die Muskeln. Die Reizbarkeit der Nerven und Muskeln wird nach narcotischer Vergiftung der Frösche so wenig aufgehoben, dass ich die längste Zeit die gewöhnlichen Phänomene nach angebrachten Reizen auf Nerven oder Muskeln der Frösche beobachtete. Treviranus hat den Mittelweg eingeschlagen, und glaubt, bestimmt durch die Analogie der Pflanzen, die durch den Lichteinfluss Reizbarkeit besitzen, aber doch auch für andere Reize erregbar sind, dass die Nerven Bedingung der Muskelreizbarkeit sind, dass aber nicht alle Reize durch ihre Mittelwirkung auf die Muskeln wirken. Tiedemann (*Physiol.* 1. 547.) sieht mit Haller die Eigenschaft der Muskeln, sich zusammenzuziehen, allerdings für eine denselben inhärirende Kraft eigenthümlicher Art

an, deren Bestehen aber von der Ernährung und dem Nerveneinflusse abhängig ist, und lehrt, dass die Nerven nicht bloss die Reize zur Erregung der Contraction der Muskeln zuleiten, sondern dass sie noch eine wesentliche Bedingung für ihre Lebensäusserungen abgeben müssen. Diese besteht eines Theils darin, dass die Muskelnerven den Muskeln die Fähigkeit ertheilen, durch Reize afficirt zu werden, sich für Reize empfänglich zu zeigen, oder dass die die Muskeln treffenden zunächst auf ihre Nerven wirken, und erst mittelst einer Action dieser die Contraction der Muskelfasern hervorrufen. Die Frage zerfällt offenbar, wie auch in diesen Worten von Tiedemann unterstellt ist, in zwei ganz verschiedene: 1. sind die Nerven nothwendig, dass sich die Fähigkeit der Muskeln zur Zusammenziehung als Lebenseigenschaft derselben erhält, und verliert sich diese Eigenschaft nach aufgehobenem Nerveneinflusse? 2. sind die Nerven die Leiter, durch welche alle Reize auf die Muskeln zunächst wirken, und wirken selbst die auf die Muskeln scheinbar allein angewandten Reize zunächst nur durch die in den Muskeln sich verbreitenden Nervenzweige? Das Erstere kann bejaht werden, ohne dass damit nothwendig das Zweite bejaht wird; aber das Zweite kann nicht bejaht werden, ohne dass auch das Erste zugegeben wird.

1. Sind die Nerven nothwendig, dass sich die Contractilität der Muskeln gegen Reize als Lebenseigenschaft derselben erhält? Nysten hatte beobachtet, dass die Muskeln kurze Zeit nach einem apoplectischen Anfalle, trotz der Hirnlähmung, auf galvanischen Reiz sich zusammenzogen, und Wilson, sich auf Brodie stützend, behauptete noch mehr, dass ein Nerve, dessen Communication mit dem Gehirne und Rückenmarke unterbrochen ist, lange seine Empfänglichkeit für Reize zur Erregung der Muskelbewegung behalte. *Philos. transact.* 1833. *p.* 1. 62. Ich hatte einige Gründe zu vermuthen, dass diese Dauer der Empfänglichkeit, wenn der Nerve sich nicht reproducirt, beschränkt ist. Mehrere von mir mit Dr. Sticker über diesen Gegenstand angestellte Versuche haben diesen Gegenstand aufgeklärt. Mueller's *Archiv.* 1834. 202. An zwei Kaninchen und einem Hunde wurde der N. ischiadicus durchschnitten, und die Vereinigung der Nervenstücke durch Ausschneidung eines grossen Stückes verhindert. Zwei Monate und drei Wochen nach der Durchschneidung wurde an dem ersten Kaninchen beobachtet, dass der untere Theil des Nerven durch den galvanischen Reiz eines einfachen Plattenpaares erregt, keine Spur von Zuckung in den Muskeln des Unterschenkels und Fusses bewirkte; aber auch die Muskeln hatten ihre Erregbarkeit für den Reiz des einfachen Plattenpaares und den mechanischen Reiz ganz verloren, während der Nerve des gesunden Schenkels und die Muskeln, in welchen er sich verbreitet, für Reize lebhaft empfänglich waren. Bei dem Hunde hatte $2\frac{1}{2}$ Monate nach der Durchschneidung des Nerven dieser in seinem untern Stück alle Reizempfänglichkeit für die einfache galvanische Kette und den mechanischen Reiz verloren; nur die Muskeln, an denen er sich verbreitet, zeigten leise Spuren von Zusammenziehung bei unmittelbarer Reizung, während an dem

Unterschenkel der gesunden Seite auf dieselben Reize der Nerven sowohl als der Muskeln allein die heftigsten Zusammenziehungen eintraten. An dem zweiten Kaninchen hatte der Nerve nach 5 Wochen alle Empfänglichkeit sowohl für den galvanischen als mechanischen und chemischen Reiz von Kali causticum verloren; eben so wenig war eine Spur von Contractilität an den Muskeln selbst durch diese Reize hervorzurufen, während auf der andern Seite die Muskeln auf dieselben Reize sich kräftig zusammenzogen. Die gegenwärtigen Versuche erweisen jedenfalls, dass die Kräfte der Nerven, die Muskeln zu Bewegungen zu veranlassen, nach gänzlich aufgehobener Communication mit den centralen Theilen des Nervensystems nicht allein verloren gehen, dass auch die Reizbarkeit der Muskeln selbst sich nach so langer Lähmung der Nerven verliert. Sie würden indess ein noch entscheidenderes Resultat geliefert haben, wenn man zur Prüfung der Reizbarkeit der Nerven und Muskeln nicht bloss ein einfaches Plattenpaar, sondern eine kleine galvanische Säule angewendet hätte. Nur dadurch hätte sich mit Bestimmtheit unterscheiden lassen, ob alle Kraft in den Muskeln in zweien der Fälle erloschen war. Indessen beweisen die Versuche deutlich genug, dass die Reizbarkeit der Muskeln mit dem Verluste der Reizbarkeit der Nerven auf die Dauer sich nicht erhält.

2. Sind die Nerven allein die Leiter, durch welche alle Reize auf die Muskeln zunächst wirken? Die Gründe, welche diess beweisen, sind folgende.

a. Die Reize, welche auf die Muskeln selbst angewandt ihre Bewegung veranlassen, sind dieselben, wie diejenigen, welche auf die Nerven angewandt die Muskeln zur Contraction erregen. Ich beobachtete zwar öfter einen Unterschied, indem die mineralischen Säuren und der Weingeist auf die Nerven applicirt keine Zuckungen hervorbrachten, während sie an den Muskeln selbst angewandt diess thaten. Indess scheint diess keine constante Verschiedenheit zu seyn; denn A. v. Humboldt hat durch Alcohol, oxygenirte Salzsäure, Arsenikoxyd, und selbst Metallsalze bei ihrer Anwendung auf die Nerven eine zitternde Bewegung in den Muskeln hervorgebracht, und Bischoff und C. Windischmann haben, wie ich aus brieflicher Mittheilung weiss, einzelne Fälle gesehen, wo die Mineralsäuren, auch auf die Nerven der Frösche applicirt, Zuckungen hervorbrachten.

b. Die Stoffe, welche den Muskeln ihre Reizbarkeit nehmen, tilgen sie auch in den Nerven. Obgleich die Narcotica, wenn sie in den Kreislauf kommen und durch Alteration des Gehirns und Rückenmarkes tödten, die Reizbarkeit der Nerven und Muskeln nicht unmittelbar aufheben, die Muskeln und Nerven bei auf diese Art getödteten Fröschen noch lange erregbar bleiben: so hat doch die örtliche Application der Narcotica auf die Nerven und Muskeln die Vernichtung der Reizbarkeit in so viel Theilen eines Nerven oder Muskels zur Folge, als mit dem Gifte in Berührung kommen. Nerven in Opiumlösung eine Zeitlang getaucht, verlieren die Reizbarkeit an der benetzen Stelle, während die zwischen dieser und dem Muskel liegenden Stellen noch reiz-

bar sind. Vergl. Bd. I. p. 613. Der Muskel in Opiumlösung getaucht wird auch, so weit diess geschieht, todt; diese gleichartige Wirkung der Narcotica auf die Nerven und Muskeln macht es wahrscheinlich, dass die Narcotica, indem sie bei der Benezzung des Muskels die Reizbarkeit der in ihnen verbreiteten Nervenzweige vernichten, dadurch auch die Fähigkeit des Muskels aufheben, für Reize empfänglich zu seyn.

c. Alexander v. Humboldt präparirte und schnitt die Nerven musculöser Theile bis in die feinsten Zweige heraus (an den oberen Theilen von Froschschenkeln oder an den Flossen der Fische), und diese hatten aufgehört, vom Metallreize afficirt zu werden.

d. Sehr heftige electrische Schläge, die entweder die Muskeln oder die Nerven allein treffen, sollen sehr schnell die Contractionsfähigkeit der Muskeln für äussere Reize aufheben. Tiedemann *Physiol. I.* 551.

e. Auch das von mir beobachtete verschiedene Verhalten der sensoriellen und motorischen Nerven bei galvanischen und mechanischen Reizen gegen Muskeln, die Zweige von beiden erhalten, kann hier angeführt werden. Durch den N. lingualis konnte ich keine Zuckungen in den Zungenmuskeln, durch den Infraorbitalis keine Zuckungen in den Schnauzenmuskeln bewirken. Man sieht daher, dass nicht der blosse Nerveneinfluss im Allgemeinen Reiz für die Contraction der Muskeln gleich andern Reizen ist, und dass ein specifisches Verhältniss einer besondern Classe von Nerven, der motorischen, zur Erregung der Muskeln nothwendig ist.

f. Endlich beweist das Erlöschen der Reizbarkeit der Muskeln nach langer Lähmung der durchschnittenen Nerven, deren glückliche Reproduction verhindert worden, auch und vielleicht am meisten und entschiedensten von allen Gründen, dass zur Erregung der Muskeln die Integrität der in ihnen sich verbreitenden Nerven nöthig ist, die Muskeln aber nicht durch sich für Reize empfänglich sind. So gewiss diess nun scheint, so kann doch die Fähigkeit der Zusammenziehung nur eine Eigenschaft der Muskeln seyn, und Tiedemann bemerkt mit Recht, dass ihnen die lebenden Nerven nicht eine Kraft mittheilen können, die sie selbst nicht haben. Aber die den Muskeln inhärente Fähigkeit der Zusammenziehung setzt zu ihrer Aeusserung die Mitwirkung der Nerven voraus, und wohl ist die von den Nerven ausgehende Entladung eines imponderabeln Agens eben so nöthig, die Primitivfasern der Muskeln zur Anziehung ihrer kleinsten oder grösseren Theile gegen einander zu bringen, als die Anziehung derselben nöthig ist, um die Verkürzung hervor zu bringen. Welche Arten der Anziehung in den von dem Nervenagens imprägnirten Muskeln statt finden, ist im vorigen Capitel schon aus Thatsachen aufgeklärt worden. Wie stark diese Anziehung aber zwischen den Winkeln der gebogenen Muskelfasern ist, lässt sich am besten aus der Fähigkeit ableiten, welche die lebenden Muskeln besitzen, im Zustande der Zusammenziehung der grössten Last, der grössten Ausdehnung zu widerstehen, während sie nach

Verlust des Anziehungsvermögens ihrer Theilchen nach dem Tode so sehr leicht zerreisbar sind. Vergl. Tiedemann a. a. O. p. 553.

Ueber die Art der Wechselwirkung der Nerven und Muskeln bei der Contraction derselben ist man noch ganz im Dunkeln. Prevost und Dumas (Magendie *J. de physiol.* *T.* 3.) wollen beobachtet haben, dass die feinen Nervenzweige in querer Richtung über die Bündel der Muskelfasern verlaufen, und zwar gerade an denjenigen Stellen, wo bei der Zusammenziehung derselben die Winkel der zickzackförmigen Biegungen entstehen, so dass diejenigen Theile des Muskels, über welche die Nerven hergehen, die Punkte seyen, gegen welche die Anziehung der übrigen statt finde, oder auch, welche sich unter einander anzögen. Sie glauben auch beobachtet zu haben, dass die Nerven auf diese Art Schlingen bilden, und dass die Nervenfasern dieser Schlingen einerseits zu der Schlinge hingehen und andererseits wieder aus der Schlinge in den Stamm zurücklaufen. Schwann hat das Verhalten der Nerven in den Muskeln an einem der seitlichen Bauchmuskeln des Frosches untersucht. Es ist hier möglich, eine so dünne Muskelschicht unter das Mikroskop zu bringen, dass man bei 450facher Vergrösserung noch hinlänglich Licht hat, um Alles sehr deutlich zu unterscheiden. Es war aber nur eine 100fache Vergrösserung nothwendig. Schwann beobachtete nun Folgendes: der in den Muskel eindringende Nervenstamm entsendet zahlreiche Nervenbündel, die sich sehr bald wieder in feinere Bündel theilen, und so fort, bis zuletzt aus den dünnen Bündeln einzelne Primitivfasern abgehn. Sowohl die feineren Bündel als auch die einzelnen Primitivfasern gehen oft unter rechten Winkeln von ihrem Stamme ab. In ihrem Verlaufe kommen sehr häufig die Bündel und auch die meisten einzelnen Primitivfasern mit anderen Bündeln zusammen und zwar sowohl mit solchen, die in derselben Richtung, als auch mit solchen, die in entgegengesetzter Richtung verlaufen. Wegen dieses Umstandes war es unmöglich zu entscheiden, ob wirklich einige Fasern, eine Schlinge bildend, wieder zum Stamm zurückkehren. Das Aneinanderlegen der Fasern und Bündel ist so häufig, dass dadurch der Muskel wie mit einem sehr unregelmässigen Netze von Nerven durchflochten erscheint. Die dieses Netz bildenden Nervenfäden liegen aber zu den Muskelbündeln in gar keiner bestimmten Lage. Dagegen beobachtete Schwann einigemal folgendes Verhalten. Ein Nervenbündel von wenigen, z. B. 4 Primitivfasern, lief quer über die Muskelbündel. Davon lief zuerst eine primitive Nervenfaser unter einem rechten Winkel ab, zwischen 2 dünnste Muskelbündel, dann lief eine zweite Faser, ebenfalls unter einem rechten Winkel, zwischen das vorige zweite und ein daneben liegendes drittes Muskelbündel, eine dritte Faser lenkte zwischen dem dritten und einem daneben liegenden vierten Muskelbündel ab und nur die eine übrig bleibende vierte Nervenfaser verband sich mit anderen Nervenbündeln. Jene einzelnen Fasern nun liefen parallel mit den Muskelbündeln eine Strecke weit und verschwanden dann, ohne dass sich entscheiden liess, was aus ihnen wurde. Es wäre möglich, dass sie sich in viel feinere Fäden theilten, die sich

unter einander netzförmig verbinden. Wenigstens hat Schwann dieses Verhalten in einem nicht musculösen, vom Sympathicus versehenen Theile, im Mesenterium des Frosches und der Feuerkröte beobachtet. Die hier das Netz bildenden Fasern sind ausserordentlich viel feiner, als die gewöhnlichen Primitivfasern oder die stärkeren Nervenfasern im Mesenterium, von welchen die feinen Fasern abgehen. Dass die von Schwann im Mesenterium beobachteten feinen Fasern wirklich Nervenfasern sind, wird durch den Habitus der stärkeren Fasern gewiss, von denen sie abgehen; aber diese stärkeren Fasern im Mesenterium waren, selbst wenn sie die Dicke der gewöhnlichen Primitivfasern der Nerven hatten, doch wieder in ihrem Inneren undeutlich gefasert, gerade so als wenn die sehr feinen Fasern, welche sie abgeben, schon in ihnen vorgebildet wären. Hier entsteht nun die Frage, ob diese so feine elementare Structur der Nervenfasern erst in den peripherischen Enden derselben eintritt, da dergleichen feine Elemente in den gewöhnlichen Primitivfasern der Nerven, wie man sie in jedem Nerven unter dem Mikroskope sieht, durchaus nicht enthalten sind.

Die Theorie der Muskelbewegung von Prevost und Dumas gründet sich nun auf die Beobachtung, dass die Nervenfasern quer über die Muskelbündelchen verlaufen, da wo die Winkel der zickzackförmigen Biegungen sind, und auf die Voraussetzung, dass die queren Schlingen der Nervenfasern sich gegenseitig anziehen und dadurch die Muskelfasern verkürzen. Schon bei dem Versuch, die Beobachtung von Prevost und Dumas an lebenden Muskelbündelchen zu wiederholen, sieht man, dass bei dem Uebereinstimmen querer Nervenfasern mit den Biegungswinkeln der Muskelfasern nicht die Primitivfasern der Nerven, sondern nur ganze Bündel von Nervenfasern gemeint seyn können. Denn an einem so dicken Muskelbündel, woran man durch Reizung noch eine Contraction hervorbringen kann, ist es nicht möglich, Primitivfasern der Nerven zu sehen; diese in den Muskeln zu verfolgen, ist nur möglich, wenn man die dünnsten Durchschnitte von Muskelsubstanz macht, und diese mit dem zusammengesetzten Mikroskop untersucht. Auch beweisen die Abbildungen von Prevost und Dumas deutlich, dass sie nur mit der Loupe untersucht haben. Ihre Theorie geht also nicht von der Wechselwirkung der Elemente der Muskeln und Nervensubstanz aus. Prevost und Dumas setzen nun eine electrische Strömung in den Nerven voraus, gestehen indess gleichwohl, dass sie mit dem Galvanometer nie eine electrische Strömung an den Nerven haben nachweisen können. Um electrische Strömungen in den Nerven durch das Galvanometer nachzuweisen, ist es nicht zulässig, dass man die Dräthe des Galvanometers auf Nerven und Muskeln zugleich anwende; denn da eine Kette von heterogenen thierischen Substanzen, wie Nerve und Muskel und von Metall schon Electricität erzeugt, so würde man bei jenem Versuche mit dem Galvanometer nicht allein die etwa in den Nerven wirkende, sondern auch die durch die Kette erst erzeugte Electricität prüfen. Man muss daher bei solchen Versuchen die Drä-

the des Galvanometers auf die Nerven allein anwenden und beobachten, ob ein Nerve, der mit dem Gehirne in Verbindung steht, bei den willkührlichen Bewegungen Schwankungen der Magnetnadel bewirkt. Prevost und Dumas haben allerdings so verfahren, indem sie bei gesunden Thieren den Nervus vagus und den Plexus ischiadicus bei einem Thiere im tetanischen Zustande untersuchten; sie fanden keine mit dem Galvanometer nachweisbare Spur von Electricität. Diesen Mangel an Erfolg kann ich bestätigen. Um die Unempfindlichkeit des Galvanometers zu erklären und den Haupteinwurf gegen ihre Hypothese zu beseitigen, nehmen Prevost und Dumas wieder hypothetisch an, dass der galvanische Strom in den Nerven doppelt sey, dass sich beide Ströme neutralisiren, so dass die Wirkung auf die Magnetnadel aufgehoben werde. Sie vergleichen die Magnetnadel des Galvanometers mit den von den Nervenschlingen umgebenen Muskelbündeln; beide erfahren die Wirkungen entgegengesetzter Ströme, und gerathen dadurch in Schwankungen. Man sieht, dass, so ingeniös diese Idee ist, sie doch durchaus keine erfahrungsmässige Basis hat. Wenn nun diese Erklärung schon sehr gewagt ist, so ist der Versuch von Prevost und Dumas, die Wirkung des Feuers und der chemischen Einflüsse auf die Nerven der Muskeln auf eine electrische zu reduciren, noch gewagter. Was sie dafür angeführt haben, ist schon früher in der Nervenphysik Bd. I. 621. erwähnt und erklärt worden. Endlich ist zu erwägen, dass nach der Hypothese von Prevost und Dumas die Anziehung der Nervenschlingen in den Muskeln gegen einander die Ursache der Verkürzung ist, und dass in dieser Hypothese die Masse des Muskels als Nebensache betrachtet wird. Freilich liesse sich die Hypothese so reformiren, dass dieser Vorwurf wegfiele, indem man annimmt, dass die Muskeln mit einer der Electricitäten beständig geladen sind, und dass ihnen die andere durch die Nerven zugeführt wird, wodurch die Anziehung der Muskelfasern gegen die Nervenschlingen und umgekehrt bewirkt werde. Indessen würde hier das von Prevost und Dumas benutzte Element der Erklärung, das von der Vergleichung der Muskelfasern mit magnetischen Körpern hergenommen ist, aufgehoben werden, und es lässt sich hierbei nicht einsehen, warum diese Anziehung der verschieden geladenen Muskel- und Nervenfasern stattfinden soll, und warum sich die Ströme nicht wie in anderen thierischen Theilen neutralisiren, ohne eine Anziehung der Theilchen gegen einander zu bewirken.

Dasselbe gilt auch von der neulich von Meissner (*System d. Heilkunde aus allgemeinen Naturgesetzen. Wien* 1832) vorgetragenen Ansicht. Nach Meissner nämlich ströme das in den Nerven nach ihm hypothetisch vorhandene electrische Fluidum in die Muskeln, bilde um alle einzelnen, der Länge nach fadenartig aneinander haftenden Atome des Muskels electrische Atmosphären, treibe dadurch die Muskelfasern, welche an beiden Enden fest verbunden sind, in der Mitte aus einander, und bewirke eben darum die Verkürzung; wie wenn man Hollundermarkkügelchen auf einen Bindfaden reiht, mehrere solcher Fäden an beiden En-

den verbindet, und das Bündel an den electrischen Conductor hängend electrisirt, worauf das Ganze sich verkürzt, indem die Fäden auseinander fahren. Eine solche Erklärung würde zwar nicht auf die zickzackförmige Biegung der Muskelfasern, aber mehr auf die an den Muskelfasern der Insecten von mir beobachteten Querabtheilungen der primitiven Bündelchen passen, wo die Bündelchen an den Quertheilungen sich bauchig ein wenig erweitern. (S. oben p. 41.) Diese Ansicht würde von der vorhergehenden nicht wesentlich verschieden seyn. Nach der erstern wären die Muskeln in der Ruhe beständig schon in einem electrischen Zustande + oder —, die Bewegung käme zu Stande, indem ein entgegengesetzt electrischer Strom von den Nerven ausgeht und beide sich im Muskel neutralisiren; nach der zweiten, wo ein electrischer Zustand in den Nerven vorausgesetzt wird, würde sich von selbst der entgegengesetzte electrische Zustand nach dem Gesetze der electrischen Vertheilung in den Muskeln entwickeln müssen. Beide Ansichten haben eine unüberwindliche Schwierigkeit in der schon vorher gemachten Bemerkung, dass sich nicht einsehen lässt, warum bei der Vereinigung beider Ströme, des der Nerven und der Muskeln, sich die peripherischen Enden der Nerven und die Muskelfasern gegenseitig anziehen sollen, oder warum nach Meissner die Primitivfasern der Muskeln sich von einander entfernen sollen. Wenn nämlich durch Electricität Bewegungen von Theilchen gegen einander entstehen sollen, ist es nicht bloss nöthig, dass sie electrisch sind. Sind sie entgegengesetzt electrisch, aber nicht isolirt, so werden sich die Ströme vereinigen, aber die Theilchen unbewegt bleiben. Papierschnitzchen werden von dem geriebenen Electron deswegen angezogen, weil sie im trocknen Zustande nur Halbleiter sind. In der Nähe des geriebenen Bernsteins oder Siegellacks entsteht durch Vertheilung an ihnen die entgegengesetzte Electricität. Beide Electricitäten streben sich zu vereinigen, und das Papierschnitzchen wird zum schwerern Körper hingezogen, weil es die Electricität zugleich in einem gewissen Grade, so lange die Vereinigung bei der Berührung nicht zu Stande gekommen ist, bindet. Sobald das Papierschnitzchen nass ist, hört es auf, angezogen zu werden, weil es im nassen Zustande vollkommener Leiter ist. In diesem Zustande nimmt es die Electricität des geriebenen Siegellacks auf, ohne angezogen zu werden. Ein vollkommener, sehr leichter Leiter wird auch dann zu einem electrischen Körper hingezogen, wenn der erstere isolirt ist. So bewegt sich das isolirte Goldplättchen zu dem electrischen Körper hin, aber die Bewegung hört auf, sobald die Isolation aufgehoben ist. Ebenso ist es mit dem von Meissner gewählten Beispiele. Die am Conductor der Electrisirmaschine aufgehangenen Schnüre von Korkkügelchen entfernen sich von einander, indem sie die Electricität des Conductors aufnehmend, gleichnamig electrisch geworden, sich abstossen. Auch diese Bewegung kommt nur so lange zu Stande, so lange Korkkügelchen im trocknen Zustande nicht vollkommene Leiter sind.

Wenden wir diess auf die Muskeln an, so werden sich die

Nervenenden und Muskelfasern nur dann anziehen können, oder die Muskelfasern nach der zweiten Hypothese nur dann auseinander weichen können, wenn sie keine Leiter sind. Das sind sie aber. Sie leiten die Electricität im nassen Zustande vortrefflich, und so gut, als irgend ein nasser thierischer Theil. Man könnte für die Hypothese, dass die Muskeln doch unvollkommene Leiter seyen, eine Beobachtung von A. v. Humboldt anführen, dass, wenn der lose unterbundene Nerve eines Froschschenkels über der Unterbindung mit einem, der Muskel mit dem andern Pole armirt wird, eine Zuckung nur dann erfolgt, wenn von der Unterbindungsstelle des Nerven bis zu seinem Eintritte in den Muskel noch ein Stück freiliegenden Nervens ist. Unterbindet man den Nerven gleich bei seinem Eintritte in den Muskel, und armirt den Muskel und Nerven über der Unterbindung, so folgt keine Zuckung. Diese letztere erfolgt aber, wenn man den Nerven jetzt eine Strecke aus dem Muskel herauspräparirt, auch hört die Zuckung auf, wenn zwischen Unterbindung und Muskel zwar ein Stück Nerve frei liegt, dieses Stück aber von einem Stückchen Muskelfleisch umgeben wird. Man könnte auf den ersten Blick daraus schliessen, dass der Muskel ein unvollkommener Leiter ist. Aber bei genauerer Betrachtung sieht man, dass der Erfolg des Versuchs eben von der vortrefflichen Leitung des Muskels abhängt. Denn zur Umhüllung des Nerven kann, wie A. v. Humboldt fand, auch eben so gut und mit demselben Erfolge nasser Schwamm oder Metall angewandt werden. Wie gut das nasse Muskelfleisch leite, davon kann man sich bei jedem Versuche an Froschschenkeln mit der einfachen galvanischen Kette überzeugen, sobald man als Conductor des schwachen electrischen Stromes ein abgeschnittenes Stück frisches oder altes Muskelfleisch nimmt.

Erwägt man überdiess, dass die ganze Hypothese von der Aehnlichkeit des elektrischen und Nervenfluidums keine empirische Basis hat, und dass, wie oben Bd. I. p. 616 bewiesen worden, beide Fluida durchaus nach den Körpern, welche sie leiten und welche sie isoliren, verschieden sind, so bleibt kein Grund mehr für die Annahme der Theorie von Prevost und Dumas oder irgend einer anderen modificirten Theorie der Muskelbewegung, die auf die Electricität begründet wäre, übrig.

Da die Muskelfasern zwischen den Nervenschlingen der Muskeln verkürzt zu werden scheinen, so ist es wahrscheinlich, dass diese Stellen des Muskels, welche dem Einflusse des Nervenprincips vorzugsweise ausgesetzt werden, sich anziehen und dadurch die zickzackförmige Biegung der Fasern hervorbringen. Die regelmässigen Anschwellungen der primitiven Bündel der Muskeln, die ich oft an den Muskeln der Insecten unter dem Mikroskope gefunden, zeigen auch, dass noch zwischen viel kleineren Theilchen der Muskelfasern Anziehungen der Länge nach gegen einander stattfinden. Auch diese Anziehung wird davon abhängen, dass die Muskelfasern durch das Nervenprincip in diesen anziehungsfähigen Zustand ihrer aliquoten Theile versetzt werden. So weit und nicht weiter lässt sich indess bei dem jetzigen Zu-

stande der Wissenschaft gehen. Die Fähigkeit des contractilen Gewebes der Oscillatorien, der Mimosen u. s. w. des leimgebenden contractilen Gewebes der Thiere, sich zu krümmen, sich zusammenzuziehen, sich zu verkürzen, scheint diesen wie den Muskeln durch ihren Lebenszustand eigen. Aber die Muskelfasern unterscheiden sich von jenen, dass dieser Lebenszustand jedesmal erst durch eine Wirkung oder Entladung des Nervenprincips in Act tritt.

Schwann ist mit Versuchen beschäftigt, um auszumitteln, nach welchem Gesetz die Kraft eines Muskels mit der Contraction desselben ab- oder zunimmt. Er bedient sich dazu des Musculus gastrocnemius beim Frosch, und zwar mit Hülfe folgender Vorrichtung. Ein Frosch wird auf einem Brettchen mit seinem Oberschenkel horizontal befestigt, der Unterschenkel senkrecht in die Höhe gerichtet und der Fuss wieder horizontal gebogen. Beide werden in dieser Lage unbeweglich festgebunden. Dann wird der N. ischiadicus hoch am Oberschenkel abgeschnitten und, mit möglichster Schonung der grossen Gefässe, bis zum Unterschenkel herauspräparirt, so dass er seitwärts heraushängt und hier über zwei Anfangs horizontal laufende, dann aber senkrecht sich hinunter biegende und das Brettchen durchbohrende Dräthe gelegt werden kann. Von diesen unter sich nicht zusammenhängenden Dräthen geht der eine zu dem einen Pol eines galvanischen Plattenpaares, der andere kann, durch leichtes Andrücken eines von dem andern Pol kommenden Drathes, mit diesem in Verbindung gesetzt werden. Die Haut am Unterschenkel des Frosches bleibt unverletzt, bis auf einen kleinen Einschnitt in der Ferse, durch den die Sehne des M. gastrocnemius, nachdem sie am Fusse abgeschnitten worden, geleitet wird. An diese Sehne wird ein Faden gebunden, der senkrecht in die Höhe geht zu dem einen Arm einer darüber hängenden Wage, wo er festgebunden wird. An dem andern Arm der Wage hängt eine Wageschale. Der erste Arm, mit dem der Muskel in Verbindung steht, wird durch Anbinden eines geraden Drathes um das Sechsfache verlängert, damit eine kleine Contraction des Muskels eine grosse Bewegung dieses Wagebalkens hervorbringt. Die Wageschale wird nun so viel beschwert, dass sie ein kleines Uebergewicht über den andern Wagebalken hat. Das Ende dieses verlängerten Wagebalkens wird durch ein horizontales Stäbchen, gegen das es nach oben drückt, so niedergehalten, dass sich der Wagebalken nach unten, aber nicht nach oben bewegen kann. Dieses Stäbchen kann, vermittelst einer eigenen Vorrichtung, sehr genau höher oder niedriger geschraubt werden und die Grösse dieser Veränderung kann an einer Skale abgelesen werden. Ist nun der Apparat so vorgerichtet, dass der lange Wagebalken etwas höher steht als in der horizontalen Richtung, ist ferner der den Muskel mit demselben verbindende Faden so gewählt worden, dass er in dieser Stellung ein wenig gespannt wird, so lässt man den Reiz eines Plattenpaares von 1□" Oberfläche auf den Ischiadicus wirken. Durch die Zusammenziehung des Muskels wird der Wagebalken nach unten gezogen. Man schraubt nun

das horizontale Stäbchen so tief, dass der Muskel bei seiner Contraction den Wagebalken nur um ein Minimum von dem Stäbchen weiter nach unten zu ziehen vermag. Das geringe Uebergewicht der Wageschale = 0 betrachtet, ist diess der stärkste Grad der Zusammenziehung. SCHWANN beobachtete nun, dass, wenn er jetzt Gewichte auf die Wageschale legte, der Wagebalken nicht mehr bewegt wurde. Auf diesem Puncte der Contraction war also die Kraft des Muskels = 0. Wurde aber das horizontale Stäbchen etwas in die Höhe geschraubt, so liess sich wieder ein Punct finden, wo der Wagebalken eben bewegt wurde. Bei diesem geringen Grade der Contraction war also die Kraft des Muskels gleich dem aufgelegten Gewichte. Das Quantum der Verkürzung aber war der sechste Theil von dem, um was das Stäbchen höher geschraubt worden war. Wurde nun das Doppelte des vorigen Gewichts aufgelegt, so musste das Stäbchen noch höher geschraubt werden, wenn der Muskel den Wagebalken bewegen sollte. Auf diesem Puncte war dann die Kraft des Muskels doppelt so gross als im vorigen Fall und der Grad der Verkürzung konnte wieder an der Skale des Messinstrumentes gefunden werden. So liess sich also die durch den Muskel bei einem bestimmten Reize sich äussernde Kraft mit dem Grade der Verkürzung desselben vergleichen. SCHWANN beobachtete noch die Vorsicht, dass er die Reize in gleichen Zwischenzeiten einwirken liess und dass er nach jedem Cyclus von Versuchen nachher wieder prüfte, ob sich der Muskel ohne Gewichte wieder auf denselben Punct wie vorher zusammenzog, oder dass er den Versuch in umgekehrter Ordnung wiederholte, z. B. erst den Stand des Messinstruments bei 0, dann bei 50, dann bei 100, dann wieder bei 50 und zuletzt bei 0 Gran Gewicht beobachtete und zwischen den bei demselben Gewicht sich ergebenden Zahlen das Mittel nahm. So fand er bei einem Frosche, wo die Versuche (im Winter) innerhalb 12 Stunden mit Unterbrechung zwischen den einzelnen Versuchen angestellt wurden, Folgendes:

I. Versuch. Bei 0 Gran Gewicht stand dass Messinstrument auf 14,1, bei 60 Gr. auf 17,1, bei 120 Gr. auf 19,7, bei 180 Gr. auf 22,6. Nahm also die Kraft des Muskels von seiner stärksten Contraction bis zu einer geringen Zusammenziehung jedesmal um 60 Gran zu, so betrug der Längenunterschied des Muskels, nach den einzelnen diesen Kräften entsprechenden Puncten zwischen 0 und 60 Gr. 3,0, zwischen 60 und 120 Gr. 2,6, zwischen 120 und 180 Gr. 2,1. Nach dem Versuch verkürzte sich der Muskel wieder, wenn kein Gewicht auf der Wageschale lag, bis auf 13,7.

II. Versuch. Wenn kein Gewicht aufgelegt wurde, contrahirte sich der Muskel so, dass das Messinstrument auf 13,5 stand, bei 100 Gran auf 18,8, bei 200 Gran auf 23,4. Während also die Kraft von 0 auf 100 zunahm, verlängerte sich der Muskel um 5,3, während sie von 100 auf 200 wuchs, um 4,6. Nach dem Versuch verkürzte sich der Muskel ohne Gewichte bis auf 14,4.

III. Versuch. Das Messinstrument zeigte bei 0 Gr. Gewicht 13,7, bei 50 Gr. 18,7, bei 100 Gr. 20,3, dann wieder bei 50 Gr. 17,7, endlich wieder bei 0 Gr. 14,1. Nimmt man hier aus den

den einzelnen Längen entsprechenden Zahlen das Mittel, so ergiebt sich, dass der Längenunterschied des Muskels da, wo er 0 und wo er 50 Gr. Gewicht betrug 4,3, zwischen 50 und 100 Gr. aber 2,1 war.

IV. Versuch. Bei 0 Gr. Gewicht stand das Messinstrument auf 13,5, bei 100 Gr. auf 19,1, bei 200 Gr. auf 23,2. Der Längenunterschied des Muskels zwischen den Puncten, wo er 0 und 100 Gran trug, verhielt sich also zu dem, wo er 100 und 200 Gr. trug, wie 5,7 : 3,1.

V. Versuch. Das Messinstrument stand bei 100 Gr. Gewicht auf 16,8, bei 10 Gr. auf 12,7, dann bei 100 Gr. auf 16,1, bei 200 Gr. auf 18,7, wieder bei 100 Gr. auf 16,1, endlich wieder bei 0 Gr. auf 11,7. Die mittleren Differenzen in der Länge zwischen den Puncten, wo der Muskel 0 und 100 Gr. und denen, wo er 100 und 200 Gr. betrug, verhielten sich also = 4,1 : 2,4.

In den beiden ersten Versuchen nahm also, während die Kraft des Muskels sich um ein Gleiches vermehrte, die Länge desselben näherungsweise um ein Gleiches zu. In den drei zuletzt angestellten Versuchen verlängerte sich der Muskel, wie seine Kraft um ein Gleiches zunahm, nicht in demselben Verhältniss, sondern in einem stärkeren, wenn weniger Gewicht auf der Wageschale lag. Die übrigen von Schwann angestellten Versuche gaben ein ganz ähnliches Resultat. In den Versuchen nämlich, die möglichst bald nach der Operation des Frosches angestellt wurden, wo also der normale Zustand am wenigsten gestört war, stellte sich das Gesetz heraus, dass die Kraft des Muskels in demselben Verhältnisse zunahm, in welchem der Muskel weniger sich contrahirte, oder dass sie in geradem Verhältnisse mit der Contraction des Muskels abnahm. Je später nach der Operation die Versuche angestellt wurden, um so mehr wichen die Resultate ab. Man kann daher schliessen, dass das Gesetz im normalen Zustande ziemlich genau gelte. Dieses Gesetz ist dasselbe, welches bei den elastischen Körpern gilt. Durch dieses Gesetz wird zunächst jede Erklärung der Muskelkraft als eine Anziehung der Theilchen desselben durch eine der uns bekannten anziehenden Kräfte widerlegt, welche so wirken, dass die anziehende Kraft wächst, je mehr sich die sich anziehenden Theilchen nähern und zwar umgekehrt nach dem Quadrate der Entfernung. Denn, ist die Anziehungskraft der Theilchen des Muskels so gross, dass sie sich schon nähern können, wenn sie weit von einander entfernt sind, so wird die Anziehungskraft noch vermehrt, wenn sich die Theilchen schon etwas genähert haben, d. h. wenn der Muskel sich schon etwas verkürzt hat. Der Muskel müsste daher bei seiner normalen Länge die geringste Kraft äussern, diese müsste wachsen mit seiner Verkürzung und im stärksten Grade der Contraction am grössten seyn. Die Versuche von Schwann beweisen aber, dass es sich gerade umgekehrt verhält, indem die Kraft des Muskels bei seiner normalen Länge am grössten, bei dem stärksten Grade der Contraction = 0 ist. Auch die Erklärung von Prevost und Dumas lässt sich nicht mit diesem Gesetz vereinigen. Der electrische Strom, den sie in den

Nerven voraussetzen, erregt einen magnetischen Strom in der queren Richtung und von diesem wird die Muskelfaser angezogen. Sie muss aber um so stärker angezogen werden, je mehr sie sich der Richtung des Stroms schon genähert hat, weil auch die magnetische Anziehung zunimmt, je mehr sich der angezogene Gegenstand nähert. Mithin müsste auch hier die Kraft des Muskels mit seiner Verkürzung wachsen. Die Erklärung von Meissner stimmt schon genauer mit diesem Gesetz überein. Bei derselben bewirkt nicht eine directe Anziehung die Verkürzung des Muskels, sondern eine Abstossung der Theilchen in der queren Richtung des Muskels. Je mehr sich also der Muskel verkürzt, um so mehr entfernen sich die sich abstossenden Theilchen, und um so geringer wird die Kraft sich weiter abzustossen. Hier nimmt also wirklich mit der Verkürzung die Kraft ab. Allein Schwann hat mathematisch berechnet, dass nach dieser Erklärung die Kraft nicht in gleichem Verhältniss mit der Verkürzung abnehmen könnte.

Am Schlusse dieser Erörterung scheint es nöthig, darauf aufmerksam zu machen, dass jede plötzliche Veränderung des Zustandes der Muskelnerven, durch was immer für eine Ursache, die Erschütterung des Muskels zur Folge hat. Die Schliessung, die Oeffnung der galvanischen Kette, die plötzliche Zerstörung des Nerven, das Brennen, der chemische Einfluss, die mechanische Zerrung, alles diess scheint dem imponderabeln Principe der Nerven einen Impuls zu geben, durch welchen es entweder in Strömung oder in Oscillation nach den Muskeln geräth, mag nun der äussere Einfluss die Lebenskraft des Nerven erhöhen oder vermindern. Deswegen können Zuckungen bei jedem, auch dem schwächsten Zustande der Lebenskräfte vorkommen, indem das Nervenprincip auch vor dem Erlöschen seiner Wirksamkeit zu jener Bewegung oder Schwingung fähig ist, und in Bewegung geräth, sobald der Zustand des Nerven verändert wird. Man hat hier Gelegenheit, die in den Prolegomena schon erörterte Thatsache zu bestätigen, dass Reizen von Vermehren der Lebenskräfte ganz verschieden ist, dass man einen thierischen Körper zu Tode reizen kann, und dass auch jene den materiellen Zustand der Nerven so gewaltsam verändernden Narcotica (Alterantia nervina), während sie das Lebensvermögen der Nerven zerstören, doch in gleichem Grade noch Reizungssymptome hervorbringen können.

II. Abschnitt. Von den verschiedenen Muskelbewegungen.

I. Capitel. Von den unwillkührlichen und willkührlichen Bewegungen.

Unter den verschiedenen Classen der Muskelbewegungen fällt der Unterschied der unwillkührlichen und willkührlichen Bewegungen zunächst auf. Diese Eintheilung ist jedoch bei näherer Betrachtung weniger natürlich als es anfangs scheint. Die verschiedenen anatomischen Formen des Muskelgewebes sind ihr nicht günstig; es giebt überdiess viele unwillkührliche Bewegungen von Muskeln, die dem Willen unterworfen sind, Bewegungen, die zum Theil so rhythmisch wie die des Herzens erfolgen. Wenn gewisse Muskeln dem Einflusse des Willens ganz entzogen sind, so sind sie doch nicht unabhängig von Seelenzuständen, und endlich verliert jene Eintheilung sehr viel von ihrem Interesse, seitdem man eingesehen hat, dass die Nerven auf die unwillkührlichen Bewegungen einen eben so grossen Einfluss als auf die willkührlichen haben. Dass die Eintheilung der Muskeln in unwillkührliche und willkührliche aus anatomischen, von dem Muskelgewebe selbst hergenommenen Gründen nicht durchführbar ist, hat schon früher p. 34. bewiesen werden können. Wenn auch die Muskeln des organischen Leibes durch den Mangel der Querstreifen an den primitiven Bündeln und ihre cylindrischen Fasern sich auszeichnen und unwillkührlich sind, so gehört doch die Urinblase in Hinsicht der Structur der letztern Classe an, während sie doch einiger willkührlichen Bewegung fähig ist. Die Bündel der Irisfasern sind auch ohne Querstreifen, und doch kann die Iris mittelbar bei der Stellung des Auges nach innen willkührlich bewegt werden. Siehe oben Bd. I. p. 765. Und wenn hinwieder die Muskeln des animalischen Leibes sich durch die Querstreifen ihrer primitiven Bündel und die Perlschnurform ihrer Primitivfasern auszeichnen, und dem Willen unterworfen sind, so macht doch wieder das Herz eine Ausnahme, welches in Hinsicht der Structur der Muskelfasern mit den animalischen Muskeln, in Hinsicht der unwillkührlichen Bewegung mit den organischen zusammengehört. Siehe oben p. 34. Auch die Farbe der Muskeln stimmt eben so wenig mit jener Eintheilung. Die willkührlichen Muskeln sind in der Regel roth; aber die der Fische sind zum kleinern Theile roth, zum grössern blass. Die unwillkührlich beweglichen Muskeln sind meist blass, wie die des Darms, aber die des Muskelmagens der Vögel und die des Herzens sind stark roth, und die willkührlich bewegliche Muskelhaut der Urinblase ist so blass wie die des Darms. Dieser Unterschied der Farbe rührt gewiss auch nicht von dem grössern oder geringern Reichthum an Blutgefässen und von dem Färbestoffe des Blutes her. Die Substanz der Muskelfasern selbst, welche mit dem Färbe-

stoff des Bluts gemein hat, dass sie sich an der Luft stärker roth färbt, scheint die Ursache dieser Eigenthümlichkeit zu seyn. Freilich stützt sich die Eintheilung der Muskeln in willkührliche und unwillkührliche mehr auf die vom Nervensystem, als auf die von den Muskeln selbst hergenommenen Gründe, aber auch hier finden sich bei der Iris und der Urinblase Schwierigkeiten. Bedenkt man endlich, dass manche an sich dem Willen unterworfene Muskeln doch beständig auch gegen den Willen zusammengezogen werden, wie der Sphincter ani, dass einige zum System der animalischen Muskeln gehörende bei den wenigsten Menschen willkührlich bewegt werden können, wie der Cremaster u. a., dass alle willkührlich beweglichen Muskeln aber oft den unwillkührlichen Bewegungen, sey es durch Reflexion oder Association, blosse Vorstellungen, wie beim Lachen, Gähnen, Seufzen, noch mehr aber durch Leidenschaften, unterworfen sind, so sind Gründe genug vorhanden, hier eine Eintheilung zu wählen, bei welcher die inneren Ursachen der verschiedenen Bewegungen mehr übersichtlich werden. Da die Aufstellung der Ordnung der unwillkührlichen Bewegungen von einem negativen Character hergenommen ist, so haben Einige die thierischen Bewegungen in automatische und willkührliche besser eingetheilt. Indessen giebt es so viele in Hinsicht der Ursachen sehr verschiedene Arten der unwillkührlichen Bewegung, dass uns diese Eintheilung auch nicht ganz nützlich scheint. Denn welche Unterschiede sind zwischen den automatischen, rhythmischen Bewegungen des Herzens und der Athemmuskeln, und den Reflexionsbewegungen? Die verschiedenen Ursachen der Muskelbewegungen scheinen durch folgende Classen am meisten zur Uebersicht gebracht zu werden.

I. Durch heterogene, äussere oder innere Reize bedingte Bewegungen. Unter heterogenen Reizen verstehen wir hier alle Ursachen zu Bewegungen ausser dem blossen Impuls des Nervenprincips selbst. In der Regel wirken solche Reize im gesunden Zustande nicht ein; es giebt jedoch einige Fälle, wo sie auch normal sind, wie der Reiz der Galle, der Excremente auf die Bewegungen des Darmes, des Urins auf die Urinblase etc. Zur Bewegung ist eine Veränderung des Zustandes der Muskelnerven nöthig. Es ist gleichgültig, ob diese dem Nerven aus seinen anatomischen Verbindungen mit den Centralorganen, oder aus seinen Gefässen, oder ganz von aussen zufliesst. Dieser Bewegungen sind alle, die animalischen und organischen Muskeln gleich fähig; sie erfolgen unwillkührlich, mögen die Muskeln sonst dem Einflusse des Willens entzogen seyn oder nicht. Der Ort, wo die Reizung geschieht, kann dreifach seyn.

a. Der Muskel selbst. In diesem Falle werden die im Muskel selbst sich verbreitenden Nerven zunächst afficirt, in dessen Folge erst die Convulsion eintritt. Siehe oben p. 52. Das Herz zieht sich bei äusserer Reizung, ebenso der Darmkanal, die Urinblase, alle unwillkührlichen gleich gut wie die willkührlichen Muskeln zusammen. Es findet nur der Unterschied statt, dass die äusseren Reize an den organischen vom N. sympathicus abhängigen

Muskeln nicht immer eine rasche und augenblicklich erfolgende Convulsion zur Folge haben, wie an den animalischen Muskeln, dass die erfolgende Contraction vielmehr entweder langsam eintritt und sich verstärkt, wie am Darmkanale und Uterus der Thiere, und dass sie lange nach dem Aufhören des Reizes ihr Maximum erreicht, und dauert, oder dass der Reiz bei den rhythmisch sich zusammenziehenden Organen, wie am Herzen, den Modus und die Schnelligkeit des Rhythmus auf einen ganzen Zeitraum verändert. Siehe das Nähere oben Bd. I. p. 711. Es scheint daher, dass die Fortpflanzung der Bewegung des Nervenprincips in dem N. sympathicus viel langsamer geschieht als in den animalischen Nerven, deren Reizung augenblickliche Wirkung hervorbringt, die gerade nur so lange dauert, als der Reiz wirkt.

b. Der Nerve. Die Reizung des Nerven ausserhalb des Muskels hat dieselbe Folge, wie innerhalb desselben bei der Irritation des Muskels selbst. Bei den animalischen Nerven sieht man diess jedesmal, bei den organischen ist es erst in neuerer Zeit entdeckt worden. A. v. Humboldt veränderte den Herzschlag durch Galvanisiren der N. cardiaci, Burdach durch Befeuchten des untern Halsknotens mit Kali causticum. Siehe oben Bd. I. p. 647. Ich verstärkte die Bewegung des blossgelegten Darmes des Kaninchens, nachdem er schon wieder ruhig geworden, durch Galvanisiren des Ganglion coeliacum mittelst der Säule. Am entschiedensten und leichtesten lässt sich aber das Factum beweisen durch Betupfen des Ganglion coeliacum mit Kali causticum. Diess ist eines der besten physiologischen Experimente. Ist der blossgelegte Darm eines Kaninchens, dessen Bewegungen sich an der Luft anfangs sehr verstärken, wieder ruhig geworden, und wird dann das Ganglion coeliacum mit Kali causticum betupft, so verstärkt sich sehr schnell darauf die Bewegung wieder. Auch hierbei sieht man wieder, dass die Bewegung des Nervenprincips im N. sympathicus langsamer und nachhaltiger erfolgt. Die Bewegung des Darms erreicht erst nach einiger Zeit ihr Maximum und dauert sehr lange fort.

c. Die Centralorgane. Die Application der Reize auf die Centralorgane hat denselben Erfolg. Die Bewegungen erfolgen jedesmal in den Muskeln, deren Nerven von dem gereizten Theile des Gehirns und Rückenmarkes abhängig sind. Die hierbei stattfindenden Gesetze sind in Hinsicht der animalischen Nerven schon oben Bd. I. p. 838., in Hinsicht der organischen Nerven Bd. I. p. 711. auseinandergesetzt worden. Nach Wilson Philip's Versuchen kann die Bewegung des Herzens von jedem Theile des Gehirns und Rückenmarkes aus verändert werden, dahingegen gewisse Theile des Gehirns und Rückenmarkes immer mit gewissen Muskeln im Zusammenhange stehen. Ein wichtiger Unterschied in Hinsicht der materiellen Reize ist nun aber folgender. Manche Einflüsse bewirken Zuckungen, mögen sie an den Muskeln, an den Nerven oder an den Centralorganen applicirt werden, wie mechanische Reize, die Wärme, die Electricität, die Alcalien und andere. Gewisse Materien bewirken bloss Zuckungen, wenn sie auf den Wegen des Kreislaufes die Centralorgane

des Nervensystems verändern, wie die Narcotica. Ein Narcoticum kann zwar, auf einen Muskel oder Nerven örtlich applicirt, die Reizbarkeit beider örtlich aufheben, aber es bewirkt an den Nerven oder Muskeln applicirt nie Zuckungen. Dieselben Stoffe bewirken die heftigsten Zuckungen, wenn sie mit dem Blute auf das Rückenmark und Gehirn einwirken, und dass die Ursache dieser Zuckungen in den Centralorganen liegt, sieht man deutlich beim Durchschneiden der Nerven eines zuckenden Gliedes; der Tetanus hört in allen Theilen auf, deren Nerven vom Rückenmarke getrennt sind. Siehe oben Bd. I. p. 612.

II. Automatische Bewegungen.

Unter den automatischen Bewegungen werden hier alle Bewegungen verstanden, welche, von Seelenactionen unabhängig, entweder anhaltend sind oder in einem regelmässigen Rhythmus erfolgen, und welche beide aus gesunden, natürlichen, in den Nerven oder Centralorganen liegenden Ursachen erfolgen. Die rhythmischen zerfallen in zwei Classen, je nachdem das Princip der rhythmischen Bewegung im N. sympathicus oder in den Centralorganen des Nervensystems residirt. In den bloss animalischen Nerven selbst ist die Ursache der regelmässigen rhythmischen Bewegung nie vorhanden.

a. Vom N. sympathicus abhängige automatische Bewegungen.

1. Muskeln mit Querstreifen der primitiven Bündel. Das Herz.
2. Muskeln ohne Querstreifen der primitiven Bündel. Darmcanal, Uterus, Urinblase.

Die automatischen Bewegungen der ersteren sind rasch, augenblicklich und schnell auf einander folgend, wie an den animalischen Muskeln mit Querstreifen. Die automatischen Bewegungen der Muskeln der zweiten Reihe sind langsam, nie Zuckungen, erreichen nur allmälig ihr Maximum, dauern länger, und die Perioden der Ruhe sind viel länger. Ob der Unterschied in der Structur der Muskelfasern liegt, oder im Nerveneinflusse, ist nicht bekannt. Für das Erstere spricht einigermaassen der Umstand, dass die Urinblase, obgleich willkührlich beweglich, von den animalischen willkührlichen Muskeln sich doch dadurch unterscheidet, dass ihre Bewegungen nicht zuckend seyn können. Die Bewegungen der Urinblase werden übrigens nur in sofern hier unter die automatischen Bewegungen aufgenommen, als ihre Bewegungen bei voller Blase periodenweise sich verstärken. Bei den automatischen Bewegungen des organischen Leibes bemerkt man durchgängig eine gewisse Folge der Contractionen; der eine Theil des Organes zieht sich früher zusammen als der andere, und die Bewegung schreitet regelmässig in einer gewissen Richtung fort, worauf ein Periodus vollendet ist. Am Froschherzen beginnt die Bewegung an den contractilen Hohlvenen, dann folgen die Vorhöfe, dann der Ventrikel, dann der Bulbus aortae. Am Darme schreitet die Bewegung wurmförmig von oben nach unten fort, aber ein Periodus ist noch nicht bis unten abgelaufen, wenn der nächste beginnt und die Theile wieder in dersel-

ben Ordnung sich zusammenziehen. Die rhythmische Bewegung beginnt schon an der Speiseröhre, deren unterer Theil, wie Magendie und auch ich beobachteten, von Zeit zu Zeit sich zusammenzieht und wieder erweitert. Am Morgen ist die Bewegung verhältnissmässig sehr schwach. Auch am Uterus der Thiere ist die Bewegung wurmförmig, wenigstens auf angebrachte Reize, wie ich bei der Ratte sah. Die periodischen Bewegungen des Uterus werden sonst nur während der Geburt, selten schwächer und krampfhaft während der Schwangerschaft beobachtet. Wirken Reize auf Organe mit automatischen Bewegungen ein, so bleibt die Folge der Bewegungen in der Regel; nur bei sehr zunehmender Reizung verändert sich die Folge und es entsteht antiperistaltische Bewegung; die letztere kann aber auch bei gehemmtem Nerveneinflusse unter Hirnzufällen eintreten. Bei Reizungen der Organe mit automatischen Bewegungen verändert sich auch der Periodus und die Bewegungen verstärken sich; das Herz schlägt bei Reizungen von aussen oder innen stärker und häufiger. Machen heftige acute Krankheiten eine starke Impression auf die Centralorgane, deren Folge man Fieber nennt, so bewegt sich das Herz nicht allein häufiger, sondern auch der Modus der Zusammenziehung der Fasern ist verändert, was den Puls hart macht; so lange die Kräfte noch unversehrt sind, ist der Puls daher hart, stark und häufig. In dem Maasse, als die Kräfte abnehmen und die Impression der Krankheit auf die Centralorgane fortdauert, bleibt der veränderte Schlag des Herzens zwar und der Puls daher hart, aber die Stärke des Herzschlages verliert sich, und der Puls wird also schwach, während die Häufigkeit des Pulses zunimmt. Ein harter, voller und häufiger Puls ist daher in acuten Krankheiten das Zeichen einer heftigen Impression auf die Centralorgane, ohne wesentliche Veränderung der Lebenskräfte; ein harter, schwacher und häufiger Puls in dem Maasse, als diese Symptome zunehmen, Zeichen der zunehmenden Schwäche der Kräfte. Bei vielen Affectionen ohne Entzündung wird der Herzschlag seltener, wenn die Functionen der Centralorgane gehemmt sind, wie in syncoptischen und apoplectischen Zufällen. Die Bewegungen des Darmcanales werden von äusseren oder inneren Reizungen stärker, schneller, so an dem blossgelegten Darme, oder bei inneren Reizungen auf die Schleimhaut (Diarrhoe); bei der Spinalirritation treten krampfhafte automatische Bewegungen des Darmcanales, Uterus ein. Dieselbe Veränderung wird wenigstens am Darmcanale bei Reizung des sympathischen Nerven beobachtet, wie ich durch Application von Kali causticum auf das Ganglion coeliacum des Kaninchens zeigte.

Mehrere der Organe mit automatischen Bewegungen haben Sphincteren. Während die Zusammenziehungen dieser Organe sich periodisch verstärken, sind die Sphincteren beständig geschlossen, wie der Sphincter vesicae, der Muttermund vor der Geburt. Indem die periodisch verstärkten Bewegungen der Schläuche zunehmen und ihren Inhalt immer stärker gegen den Sphincter treiben, wird dieser zuletzt überwunden und ausge-

dehnt; er verstreicht. Der Antagonismus der Schläuche und der Sphincteren ist offenbar weniger in den musculösen Apparaten, als in der Art der Nervenwirkung auf beide begründet. Diese ist die Ursache, dass der Muttermund, der Sphincter vesicae anhaltend geschlossen ist, während sich die Bewegungen der Schläuche periodisch (beim Uterus in der Form der Wehen, bei der Urinblase als Harndrang) verstärken. Eine Polarität zwischen Fundus und Cervix uteri mit Reil (Reil's *Archiv* 7.) anzunehmen, macht die Sache nicht deutlicher. Die Ausdehnung der Sphincteren scheint grösstentheils in Folge des Druckes zu erfolgen, der Muttermund dehnt sich dem zu Folge aus, verstreicht, wie der Sphincter ani beim Drucke der Excremente von oben verstreicht. Nach dem Austreiben des Inhaltes ziehen sich Schlauch und Sphincter wieder allmählig zusammen. Diese Zusammenziehung scheint an den Sphincteren auch wieder ohne Periodus, an den Schläuchen periodisch verstärkt zu erfolgen; die Nachwehen nach der Geburt sind der Ausdruck dieser rhythmischen Contractionen.

Die letzte Ursache der rhythmischen Contractionen der organischen Muskeln liegt in der Art der Wechselwirkung zwischen den Muskeln und den sympathischen Nerven, nicht den Centralorganen. Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied dieser automatischen Bewegungen von den automatischen Bewegungen der animalischen Muskeln. Das Herz setzt eine rhythmischen Bewegungen auch ausgeschnitten fort; sie hängen nicht vom Reize des Blutes ab, denn sie erfolgen noch eben so regelmässig am blutleeren Herzen; sie hängen auch nicht vom Reize der Luft ab, denn sie setzen sich auch im luftleeren Raume fort. Der Darmcanal zieht sich auch ausgeschnitten noch peristaltisch zusammen, und an dem ausgeschnittenen Eierleiter einer Schildkröte hat man diese Bewegungen bis zum Austreiben der Eier erfolgen sehen.

Dass die in der Muskelsubstanz sich verbreitenden organischen Nerven bei diesen automatischen Bewegungen der abgeschnittenen Theile eine Hauptrolle spielen, und dass diese Muskeln nicht unabhängig von den Nerven sich rhythmisch zusammenziehen, wie Haller einst glaubte, ergiebt sich aus den Resultaten der früher geführten Untersuchung (p. 52.), wonach die Wechselwirkung der Nerven und Muskeln zum Acte der Muskelcontraction überhaupt nöthig ist, ferner auch aus der Thatsache, dass auf Reize, welche auf das Ganglion coeliacum angebracht werden (Kali causticum), sich der Modus der Zusammenziehung des Darmes auf längere Zeit verändert. Die Ursache des Rhythmus kann entweder in den Muskelfasern oder in den Nervenfasern liegen. Liegt sie in den Muskelfasern, so wird die Einwirkung des Nervenprincips beständig seyn, aber die Muskelfasern des Herzens verlieren nach jeder augenblicklichen Zusammenziehung ihre Fähigkeit sich zusammenzuziehen, und erhalten sie durch kurze Ruhe während der Einwirkung des Nervenprincips wieder. Liegt die Ursache des Rhythmus in den Nervenfasern, so ist die Empfänglichkeit der Muskelfasern dauernd, und das Nervenprincip strömt, aus in den Nerven liegenden Ursachen, nur periodisch

auf diese ein. Die erstere Hypothese, dass das Herz jeden Augenblick, oder 80mal in der Minute seine Empfänglichkeit für den perennirenden Einfluss des Nervenprincips verlieren und 80mal in der Minute sie wieder gewinnen sollte, ist unwahrscheinlich, da alle übrigen Muskeln sich dauernd bewegen, wenn der Reiz dauernd ist. Eine so schnelle Herstellung der verlornen Reizempfänglichkeit durch blosse Ruhe ist eben so unwahrscheinlich, da zur Herstellung der Reizempfänglichkeit der ermüdeten Muskeln nicht bloss die Ruhe, sondern die Einwirkung des Blutes während der Circulation nöthig ist. Das Herz setzt aber seinen Rhythmus auch im blutleeren Zustande seiner Höhlen und ausgeschnitten fort, wo das arterielle Blut seine Capillargefässe nicht mehr durchströmen kann. Die erste Hypothese ist daher unwahrscheinlich und die zweite wahrscheinlicher, dass die Reizempfänglichkeit des Herzens dauernd, die Wirkung des Nervenprincips in den Nerven des Herzens periodisch ist.

Wir wollen diese zweite Hypothese nun näher zergliedern. Durch Wirkung auf das Ganglion coeliacum kann man die schon erloschene Bewegung des Darmes wieder peristaltisch, also auch rhythmisch herstellen und sehr verstärken. Diess macht es wahrscheinlich, dass dieses Ganglion an der Erzeugung der rhythmischen Bewegung Antheil hat; da aber das Ganglion bei jenem Versuche durch Kali causticum zerstört und todt wird, die hervorgerufenen rhythmischen Bewegungen aber lange fortdauern, so müssen auch die dem Ganglion zunächst liegenden Theile der im Darme sich verbreitenden Nerven jene Fähigkeit besitzen, und sie besitzen sie in der That, da ja selbst der blosse vom Mesenterium abgeschnittene Darm noch seine peristaltische Bewegungskraft in sich hat. Der Einfluss, den das Ganglion coeliacum auf Hervorbringung periodischer Bewegungen erweislich hat, wird auch den in den organischen Muskeln sich verbreitenden organischen Nervenzweigen um so mehr zukommen, als man bei feinerer Untersuchung der Zweige des Sympathicus in ihnen selbst noch öfter sehr kleine secundäre Anschwellungen ohne Regelmässigkeit zerstreut findet. Retzius hat dergleichen sehr kleine Ganglien an den auf den Trigeminus übergehenden Zweigen des Sympathicus beobachtet. (*Isis* 1827.) Ich habe einmal ganz kleine mit der Loupe zu beobachtende Anschwellungen im Ramus communicans des Sympathicus und eines Dorsalnerven beobachtet. Die von mir gefundenen Zweige des Plexus hypogastricus, welche sich beim Pferde und Menschen in den hintersten Theil der Corpora cavernosa penis begeben, zeigen auch weit von diesem Eintritte entfernt kleine gangliöse Anschwellungen, beim Menschen in der Gegend des hintern Endes der Prostata, gleichwie beim Pferde. Bei feinerer Untersuchung grösserer Strecken des Nervus sympathicus sieht man nicht selten kleine, leicht zu übersehende Knötchen eingestreut, wenn man die einzelnen Faserbündel von einander in grösserer Länge trennt. Remak hat im Laufe der sympathischen Nerven öfter solche kleine Anschwellungen isolirt, die man

mit blossen Augen sehr gut erkennen kann. Dr. SCHWANN hat an den feinsten mikroskopischen Zweigen des N. sympathicus im Mesenterium der Feuerkröte, von grossen Zwischenräumen unterbrochen, kleine Anschwellungen gesehen. Diese kleinen Anschwellungen des N. sympathicus sind wohl von den von EHRENBERG beobachteten Varicositäten der Primitivfasern des N. sympathicus zu unterscheiden *).

Fasse ich nun alles Vorausgeschickte zusammen, so ist mein Schluss folgender: Die automatische Bewegung der organischen Muskeln hängt, wie alle Muskelbewegung, zuerst von dem Impuls des Nervenprincips ab, was bewiesen wurde; die Ursache des Rhythmus dieser automatischen Bewegungen liegt nicht in der Natur der Muskelfasern, sondern des eigenthümlichen Nervensystems der organischen Muskeln, was bewiesen wurde; das Ganglion coeliacum hat die Fähigkeit, gereizt, peristaltische Bewegungen des Darms hervorzubringen, was bewiesen wurde; die gangliöse Natur des Sympathicus scheint sich ferner auch bei feinerer Verzweigung zu erhalten, und die Fähigkeit des Darms zu peristaltischen Bewegungen erhält sich auch am vom Mesenterium abgetrennten Darme. Schluss: folglich besitzen auch die kleineren in dem Darmkanal selbst verbreiteten Zweige des N. sympathicus noch die Wirkung, periodische Bewegungen hervorbringen, wie es vom Ganglion coeliacum erwiesen wurde.

Was von den peristaltischen Bewegungen des Darms gilt, muss auch von den rhythmischen Bewegungen des Herzens gelten; die erste Bewegung des noch schlauchförmigen Herzens ist auch eine peristaltische.

Es scheint daher aus allem Erwähnten hervorzugehen, dass die Fähigkeit des N. sympathicus, periodische Bewegungen hervorzubringen, nicht bloss seinen grossen Ganglien, sondern seinen kleinsten Theilen noch zukömmt, welche sich innerhalb der Organe verzweigen; und daher ist es zu erklären, warum das ausgeschnittene Herz, der ausgeschnittene Darm, der ausgeschnittene Eierleiter der Schildkröte noch einen bestimmten Rhythmus der Bewegung beobachten.

Hypothese. Es fragt sich, ob es nicht möglich ist, durch eine klare Hypothese genügend zu erläutern, wie es kommt, dass der Im-

*) Die von SCHWANN beobachteten Fasern, welche in sehr grossen Zwischenräumen kleine Anschwellungen bilden, sind ausserordentlich viel feiner als die gewöhnlichen Primitivfasern oder die stärkeren Nervenfasern im Mesenterium, von welchen die feinen Fasern abgehen. Dass die von SCHWANN beobachteten feinen Fasern wirklich Nervenfasern sind, wird durch den Habitus der stärkeren Fasern gewiss, von denen sie abgehen. Aber diese stärkeren Fasern im Mesenterium waren, selbst wenn sie die Dicke der gewöhnlichen Primitivfasern der Nerven hatten, doch in ihrem Innern undeutlich gefasert, gerade so, als wenn die sehr feinen Fasern, welche sie abgeben, schon in ihnen vorgebildet wären. Die gewöhnlichen sogenannten Primitivfasern der Nerven in anderen Theilen sind nicht im Innern gefasert, sondern mehr oder weniger klar. Ob auch diese Cylinder nicht noch feinere Elemente enthalten, ist noch ungewiss.

puls des Nervenprincips in den vom N. sympathicus versehenen Theilen mit Unterbrechung rhythmisch wirkt. Hypothesen sind in einer exacten und auf Facta sich stützenden Wissenschaft dann erlaubt, wenn eine definitive Erklärung zur Zeit unmöglich ist, wenn die hypothetische Erklärung den Facten nicht zuwider ist, vielmehr damit übereinstimmt, und wenn die Hypothese ein neues Feld zu ferneren Untersuchungen eröffnet. Das Folgende scheint eine Hypothese von dieser Art zu seyn.

Man nehme an, dass in dem N. sympathicus beständig Strömungen des imponderabeln Nervenprincips von dem Centrum (der Ursprungsstelle) nach der Peripherie, nach den Organen stattfinden. Wie kömmt es, dass die continuirliche Bewegung in die periodische umgewandelt wird? Die Mechanik zeigt uns viele Beispiele einer solchen Umwandlung. Wir wollen ein Bild von einem imponderabeln Fluidum hernehmen. Wird ein mit Electricität geladener Körper dem Bohnenberger'schen Electrometer auf einige Entfernung genähert, so zeigt das Goldblättchen desselben eine Neigung, gegen eine der Säulen hinzufahren, und ist der electrische dem Electrometer zugeleitete Strom stark genug, so wird das Goldblättchen gegen die Säule bis zur plötzlichen Berührung hingezogen. War der electrische Strom nicht stark genug, so bleibt das Goldblättchen geladen und schwebt der einen Säule des Electrometers zu, ohne sie zu erreichen. Die Electricität bleibt in ihm gebunden, trotz dem Streben nach Vereinigung beider Electricitäten. Erst wenn neue Quantitäten von Electricität dem Blättchen von aussen zugeführt werden, tritt das Maximum ein, wo das Blättchen die Electricität, womit es geladen ist, nicht mehr zu halten im Stande ist und plötzlich an die Säule abgiebt. Noch instructiver ist in dieser Hinsicht das funkenweise periodische Abgeben der Electricität von der beständig erregten Maschine, an einen in einiger Entfernung genäherten Leiter. Der zwischen dem Conductor der Maschine und dem genäherten Leiter befindliche Halbleiter, die trockene atmosphärische Luft, hindert das beständige Ueberströmen der doch beständig in der Maschine erregten Electricität; daher geht diese in periodischen Entladungen auf den Leiter über, je nachdem sie in der Quantität angehäuft ist, den Halbleiter zu durchbrechen. Was wir hier anführen, ist bloss ein Bild; es fällt uns nicht ein, das in den Nerven wirkende Princip mit der Electricität zu vergleichen; diese Idee ist hinlänglich (Bd. I. p. 616.) bestritten und widerlegt worden. Aber das Bild giebt ein Mittel an die Hand, uns eine vorläufige hypothetische Vorstellung von der Art der Bewegung des Nervenprincips in den sympathischen Nerven zu machen. Man hat die Ganglien des Sympathicus öfter mit Halbleitern verglichen. Wir haben gesehen, dass das Nervenprincip in den sympathischen Nerven sich viel langsamer als in den animalischen Nerven bewegt. Diess ist eine Thatsache. Denn wenn das Ganglion coeliacum des Kaninchens, dessen blossgelegter Darm seine an der Luft anfangs verstärkten Bewegungen wieder eingestellt hatte, mit Kali causticum betupft wurde, so entstanden nach einigen Secunden erst verstärkte peristaltische Bewegungen des

Darms, welche viel später erst ihr Maximum erreichten und überhaupt sehr lange dauerten. Diese langsame Bewegung des Nervenprincips in dem sympathischen Nerven zeigt ein Hinderniss der Leitung an, welches in den animalischen Nerven nicht vorhanden ist, bei denen die Reaction des Muskels mit unmessbarer Geschwindigkeit auf die Reizung des Nervens folgt. Man kann also die sympathischen Nerven in der That mit Halbleitern oder Halbisolatoren vergleichen, mag nun die aufhaltende oder isolirende Ursache in den Ganglien oder in den Nervenfasern selbst liegen. Diess zugegeben, so ist auch ersichtlich, warum der Uebergang des Fluidums periodisch erfolgt oder periodisch sich verstärkt. Die als Halbleiter wirkenden gangliösen Theile des Sympathicus werden das Nervenfluidum als Halbleiter zu binden suchen. Der allgemeine, der peripherischen Verbreitung der Nerven folgende Strom strebt hingegen zum Impuls auf die organischen Muskeln. Haben nun gewisse als Halbleiter wirkende Theilchen des N. sympathicus eine gewisse Quantität des Nervenprincips gebunden, so behalten sie dieselbe so lange, bis das ihnen zugeleitete Nervenprincip das Maximum erreicht hat, das sie zu binden vermögen, dann geben sie dieses plötzlich an die organischen Muskeln ab, und das Spiel wiederholt sich von neuem. Wenn ein solcher Process in dem N. sympathicus bis zu seiner peripherischen Verbreitung in den Muskeln stattfindet, so müssen die im Kleinen sich öfter wiederholenden Ganglien als Halbleiter und unvollkommene Isolatoren des Nervenprincips eine Hauptrolle dabei spielen. Ich bemerke nochmals, dass ich mich gegen eine Identificirung des Nervenfluidums und des galvanischen Fluidums durchaus verwahre. Denn um es nochmals zu wiederholen, die Isolatoren des Nervenprincips sind nicht die des electrischen, die Leiter des letztern nicht die des wirksamen Princips der Nerven.

Nicht alle vom N. sympathicus abhängige Bewegungen haben einen Typus intermittens, einige wie die der hieher gehörigen Schliessmuskeln haben einen Typus continens. Hier wird die ununterbrochene Leitung des Nervenprincips gestattet seyn. Der Sphincter vesicae urinariae ist fast immer thätig, und seine Thätigkeit wird nur in kleinen Zwischenzeiten unterbrochen. Es ist merkwürdig, dass diess grade an einem Organe stattfindet, dessen Nerven nicht bloss organische, sondern auch animalische sind, welche den continuirlichen Strom des Nervenprincips gestatten. Die Urinblase erhält ihre Nerven nicht bloss vom Plexus hypogastricus, sondern auch von dem 3. und 4. Sacralnerven. Diese continuirliche Zusammenziehung des Sphincters der Urinblase ist in der That auch weniger vom Sympathicus, als von dem animalischen Nervensystem und von den Centralorganen abhängig. Die Contractionskraft desselben wird bei Krankheiten des Gehirns und Rückenmarks aufgehoben. Während die bloss vom N. sympathicus abhängigen Bewegungen sich sehr lange unabhängig vom Gehirn und Rückenmark, ja sogar an ausgeschnittenen Theilen erhalten, wird der Sphincter vesicae urinariae sogleich

bei Durchschneidung des Rückenmarkes gleich dem willkührlich beweglichen Sphincter ani gelähmt.

Wenn die organischen Nerven die Fähigkeit haben, das Nervenprincip auf längere Zeit zu binden und nicht schnell auszuströmen, so erklärt sich daraus, warum die vom N. sympathicus versehenen Organe ihre Bewegungen noch lange Zeit unabhängig vom Gehirne und Rückenmarke fortsetzen. Siehe oben Bd. I. p. 186. 710. Ganz und auf die Dauer unabhängig von den Centralorganen sind diese Organe gleichwohl nicht. Nach häufigen Nachtwachen und in acuten Krankheiten mit heftiger Impression auf die Centralorgane wird dieser Einfluss später merklich, der in kürzeren Zeiträumen nicht so merklich seyn kann, wie an den von animalischen Leitern versehenen Theilen; dann nämlich wird auch die Kraft des Herzens und anderer organischen Muskeln erschöpft.

b. Von den Centralorganen abhängige automatische Bewegungen.

Da dieselben Muskeln beim unwillkührlichen Athmen und bei willkührlichen Bewegungen thätig sind, so musste man auf den Gedanken kommen, ob nicht beiderlei Bewegungen in denselben Muskeln durch verschiedene Nerven ausgeführt werden. Ch. Bell suchte zu zeigen, dass die eine Art der Bewegung in diesen Muskeln aufgehoben seyn kann, während die andere fortdauere. Liess er einen Hemiplegicus die Schultern aufheben, so konnte dieser, trotz aller Anstrengung, nur die Schulter der gesunden Seite heben. Die willkührlichen Bewegungen der Brust waren auf der kranken Seite aufgehoben, und doch hob sich, wenn Bell den Kranken stark einathmen liess, die Schulter auf der kranken Seite so gut wie auf der gesunden. C. Bell's *physiol. u. pathol. Untersuchungen des Nervensystems. Berlin* 1832. *p.* 113. (Diess beweist freilich nur, dass, wer das Vermögen hat, stark einzuathmen, auch noch die Willkühr über diese Muskeln besitzt.) Ch. Bell erklärte jene Thatsachen daraus, dass der Nervus accessorius, welcher den cucullaris und levator scapulae versieht, als Respirationsnerven gelähmt seyn können, während die zu diesen Muskeln gehenden Zweige der Spinalnerven thätig bleiben; und so könne der Antheil, den jene Muskeln beim Athmen haben, indem sie die Brust vom Gewichte der Schultern befreien, während der willkührlichen Bewegung verloren seyn, und umgekehrt. Bell hat auch beim Esel den N. accessorius durchschnitten und gesehen, dass die Bewegung des cucullaris und levator scapulae beim Athmen aufhörte, die willkührlichen Bewegungen dieser Muskeln aber noch vorhanden waren. In Beziehung auf den N. accessorius kann man das Angeführte zugeben, obgleich es nicht hinreichend erwiesen ist, und der N. accessorius gewiss eben so gut als die Spinalnerven den cucullaris zur bloss willkührlichen Bewegung anregen kann. Viele Respirationsmuskeln, wie namentlich das Zwerchfell, haben nur einerlei Nerven, und es ist nicht entfernter Weise wahrscheinlich, dass in diesen Nerven besondere Fasern vorhanden sind, welche die Athembewe-

gung, und andere, welche die willkührlichen Bewegungen verursachen. Wir wirken auf dieselben Nervenfasern, wenn wir unwillkührlich nach bestimmtem Rhythmus athmen, und wenn wir nach Willkühr den Rhythmus verändern.

Die Ursache des Typus und Rhythmus dieser Bewegungen liegt nicht in den Nerven der animalischen Muskeln, sondern in dem Gehirn und Rückenmark. Die Gehirn- und Rückenmarksnerven verhalten sich zu ihnen als blosse Leiter der vom Gehirn und Rückenmark ausgehenden Bestimmungen; werden diese Leiter durchschnitten, so hört die automatische Bewegung auf. So verhält sich die Thätigkeit des Zwerchfells und aller Athemmuskeln zu ihren Nerven, so die Wirkung des Sphincter ani u. a. Die hieher gehörigen animalischen automatischen Bewegungen sind auch wieder theils von intermittirendem, theils von continuirendem Typus. Im erstern Falle befinden sich die Athembewegungen, im letztern die Bewegungen der animalischen Sphincteren. Alle hieher gehörigen Bewegungen werden von Muskeln ausgeführt, die ausser der automatischen Bewegung auch dem Willen unterworfen sind.

1. *Automatische Bewegungen des animalischen Systems mit intermittirendem Typus.*

a. Athembewegungen. Zu den Athembewegungen gehören die Bewegungen des Zwerchfells, der Bauchmuskeln, Brustmuskeln, der Kehlkopfmuskeln, welche die Stimmritze öffnen und schliessen. Hiezu kommen unter Umständen auch Athembewegungen im Gesicht und am Gaumensegel bei mehreren Menschen im Schlafe. Die dabei implicirten Nerven sind für gewöhnlich der N. phrenicus, accessorius Willisii, vagus, ein grosser Theil der Spinalnerven, und für die Athembewegungen des Gesichtes der N. facialis. Der N. vagus hat an den Athembewegungen, obgleich er das Organ des chemischen Athemprocesses, die Lungen, versieht, einen nur geringen Theil. Sein Antheil an den Athembewegungen beschränkt sich nur auf seine Herrschaft über die Bewegungen der kleinen Muskeln des Kehlkopfes, und vielleicht rührt selbst diese nur von dem Uebergange eines Theils des N. accessorius Willisii auf den Vagus her. Siehe oben Bd. I. p. 639. Die Lungen haben mit den Athembewegungen gar nichts zu thun; der ganze untere grössere Theil des N. vagus besitzt gar keine motorische Kraft, nicht einmal auf den Magen (siehe oben Bd. I. p. 773.), und die Functionen des N. vagus in den Lungen sind offenbar, die Empfindungen der Lungen zu leiten, und einen Theil organischer Fasern vom N. sympathicus zur Regulirung des chemischen Processes in den Lungen zu diesen zu führen. Alle Athembewegungen einer Art, von so vielen Nerven sie auch ausgeführt werden, geschehen zu gleicher Zeit; sie müssen eine gemeinschaftliche Ursache haben. Legallois hat bewiesen, dass diese Ursache in der Medulla oblongata residirt. Siehe oben Bd. I. p. 331. Das von der Medulla oblongata getrennte Rückenmark unterbricht diesen Einfluss zu allen unter dieser Stelle vom Rückenmarke entspringenden Athemnerven; jede über dem Ursprunge des 4. Halsnerven stattfindende Verletzung des Rückenmarkes hebt den Antheil des

N. phrenicus an den Athembewegungen auf. Der Antheil des Vagus an dem Athmen bleibt, so lange sein Ursprung von der Medulla oblongata nicht betheiligt ist; durchschneidet man ihn, so ist die Bewegung der Stimmritze gehemmt (siehe oben p. 338.). Aber die Quelle aller gleichzeitigen Athembewegungen ist mit der Verletzung der Medulla oblongata zerstört, dahingegen die Verletzungen der vor der Medulla oblongata liegenden Hirntheile die rhythmischen Athembewegungen nicht aufheben. Die Ursache der rhythmischen Affection aller dieser Nerven, die sonst auch der willkührlichen Bestimmung fähig sind, liegt also in der Medulla oblongata, mögen die einzelnen nun vom Gehirn oder Rückenmark entspringen. Wie soll man sich diesen Rhythmus vorstellen? Besteht er in einer einzigen periodisch wirkenden Erregung der Inspiratoren, oder in zweien auf einander folgenden und abwechselnden Erregungen zuerst der Inspiratoren, dann der Exspiratoren? Das Problem würde einfacher seyn, wenn nur das Erstere stattfände. In der That besteht das gewöhnliche Athmen eines ganz ruhigen Menschen, in sofern es durch lebendige Bewegungen hervorgebracht wird, nur aus periodischen Inspirationen durch das Zwerchfell, die Brustmuskeln und Kehlkopfmuskeln. Die Exspiration geschieht dabei durch die Elasticität und das von selbst erfolgte Senken der vorher ausgedehnten und erhobenen Theile. Der Druck der Muskeln, z. B. der Bauchmuskeln, hat hierbei Antheil; aber vielleicht nur so viel, als der beständige Druck dieser Muskeln auf die Baucheingeweide beträgt, welche dadurch zurückgedrängt werden und das Zwerchfell mit Verengerung der Brusthöhle heben. Zuweilen, wenn das Einathmen abrupt und plötzlich aus innern Ursachen erfolgt, bleibt sich das Ausathmen doch gleich, und erfolgt allmählig wie gewöhnlich. Indessen tritt jedenfalls bei jedem häufigern und heftigern Athmen in gereizten Zuständen eine active Bewegung der Exspiratoren ein, und der in der Medulla oblongata bewirkte Rhythmus der Athembewegungen hat also dann zwei verschiedene Momente, wie der Herzschlag; bei den Fröschen hat der Rhythmus des Athmens sogar regelmässig drei Momente (siehe oben Bd. I. p. 163.), während ihr Herzschlag vier Momente von der Bewegung der Hohlvenen bis zur Bewegung des Bulbus aortae hat. Drückt man das bisher Entwickelte in physiologischen Termen aus, so findet bei dem Athmen in der Medulla oblongata eine periodische Entladung und Bewegung des Nervenprincips nach allen Inspiratoren, und bald darauf wenigstens häufig eine Bewegung des Nervenprincips, sey es Strömung oder Schwingung, nach den Exspiratoren statt. Die Untersuchung über die Ursachen dieser Bewegung betrifft zwei Fragen:

1. Was erregt die Medulla oblongata zu den Entladungen des Nervenprincips nach den respiratorischen Nerven beim geborenen Menschen, da sie beim Fötus nicht stattfinden? Die Untersuchung über diesen Gegenstand ist schon früher Bd. I. p. 337. geführt. Entweder liegt die erregende Ursache in Empfindungen, welche von den Athemorganen ausgehen und durch den Vagus eine Impression auf die Medulla oblongata machen, oder

sie liegt in dem Eindrucke des arteriellen Blutes auf diesen so höchst reizbaren Theil des Nervensystems. Dass die Empfindung der atmosphärischen Luft in den Lungen, und das in den Lungen empfundene Athembedürfniss weder beim ersten Athmen, noch später die Ursache seyn kann, geht aus den von mir angestellten Versuchen hervor, wo ich diese Empfindungen beim Kaninchen durch Durchschneidung des N. vagus auf beiden Seiten, durch Durchschneidung auch des höher entspringenden Ramus laryngeus superior auf beiden Seiten, ja durch gänzliche Ablösung des Kehlkopfes unmöglich machte, und der Rhythmus der Athembewegungen viele Stunden bis zum Tode des Thieres fortdauerte. Die Theorie von Kind, dass hingegen der Reiz der atmosphärischen Luft auf die Hautnerven, der auf das Rückenmark geleitet werde, das Athmen als Reflexionsbewegung errege, ist nicht sehr wahrscheinlich. Ein von der Haut ganz befreiter Frosch athmet ungestört fort. Ein Frosch athmet gleich gut mit dem Kopfe in der Luft, mag die Haut seines Körpers von Wasser oder Luft umgeben seyn. Wäre der Hautreiz von Wasser zur Incitation der Athembewegungen hinreichend, so müsste auch der Fötus der Säugethiere im Uterus Athembewegungen machen. Es ist daher offenbar, dass die Ursache des ersten wie fernern Athmens eine solche ist, welche auf den Fötus nicht wirken konnte und nach der Geburt sogleich auf das Kind wirkt, und diese Ursache liegt nicht in dem Empfindungsreize der atmosphärischen Luft weder auf die Lungen, noch auf die Haut. Sie kann keine andere seyn als das arterielle Blut, welches bei dem ersten Eindringen der Luft in die Athemwerkzeuge entsteht, und in weniger als einer Minute schon bis zum Primum movens aller Athembewegungen im Gehirne, zur Medulla oblongata gelangt und diese zu Entladungen des Nervenprincips in die von ihr abhängigen Bahnen der respiratorischen Nerven erregt. Dass diess die fortdauernde Ursache der Athembewegungen während des ganzen Lebens ist, ergiebt sich sehr schön aus den von mir angestellten Versuchen mit Fröschen, die ich einige Stunden in Wasserstoffgas athmen liess, wobei sie nach einiger Zeit zu athmen aufhörten, obgleich sie noch lebten. Ihre Athembewegungen treten anfangs wieder auf kurze Zeit ein, wenn man sie rüttelt in dem verschlossenen Gefässe, später werden die Thiere scheintodt. Nimmt man sie nach 2—3 Stunden aus dem Gefässe an die atmosphärische Luft heraus, so scheinen sie wie vollkommen todt; keine Spur von Bewegung oder Empfindung ist an ihnen zu bemerken. Man lege nun ihr Herz bloss. Schlägt es gar nicht mehr, so leben sie auch nicht mehr an der atmosphärischen Luft auf. Schlägt es noch, wenn auch in sehr grossen Pausen, von ½—1 Minute, so lasse man den Frosch nur liegen; er lebt in der Regel wieder auf, ohne alle Reizung von aussen, als die allmählige Oxydation des Blutes in den Lungengefässen, deren Mangel die Ursache des Scheintodes war. Das mit Oxygen geschwängerte Blut kömmt, so schwach und so selten die Herzschläge auch seyn mögen, doch zuletzt wieder ins Gehirn, zur Medulla oblongata; die Medulla oblongata fängt wieder an das Nerven-

princip ausszuströmen. Die ersten Spuren des Wiederauflebens zeigen sich an dem ganz ruhig in der atmosphärischen Luft liegenden Frosch daran, dass er auf Kneipen der Haut die Extremitäten einzieht; nach einiger Zeit sieht man ihn von Zeit zu Zeit athmen, und nach einigen Stunden sitzt er frisch wieder da. Also die Ursache der ersten und dauernden Erregung der Medulla oblongata zur Entladung des Nervenprincips nach den respiratorischen Muskeln ist das arterielle Blut.

2. Was ist der Regulator des Rhythmus der Athembewegungen? Die Incitation der Medulla oblongata durch das arterielle Blut ist continuirlich, und wenn auch das Blut, isochronisch mit dem Herzschlag, mit stärkerem Impuls in die kleinen Arterien strömt, so steht doch diese stossweise verstärkte Bewegung in keinem Verhältnisse mit den Perioden der Athembewegung. Wie geht nun die beständige Erregung der Medulla oblongata in die periodische Bewegung des Nervenprincips von dieser aus über? Die Frage scheint anfänglich auch durch eine ähnliche Supposition löslich, wie bei den automatischen Bewegungen des organischen Systems. Befindet sich in der Medulla oblongata irgend eine Isolation, wodurch das sich dort entwickelnde Nervenprincip aufgehalten wird, sich in dem Maasse zu entladen, als es durch die Wirkung des arteriellen Blutes auf die Nervensubstanz entbunden wird, so wird sich dasselbe bis zu dem Momente anhäufen, wo es die Isolation durchbricht und in die respiratorischen Nerven übergeht. Eine andere Lösung der Frage würde sich auf die Thatsache gründen, dass entweder die Fähigkeit eines Nerven, einen Strom oder eine Schwingung des Nervenprincips zu leiten, oder die Fähigkeit der Muskeln, dem vorhandenen Nervenimpuls zu gehorchen, eine begrenzte ist und nach einer gewissen Zeit so lange aufhört, bis sich diese Fähigkeit durch den Lebensprocess in den Capillargefässen wieder hergestellt hat. In den Muskeln der Extremitäten ist diese Fähigkeit offenbar viel grösser, als in den Muskeln, welche dem Athmen dienen; wir sehen diess an der Dauer der willkührlichen Bewegungen. Wir können sehr lange stehen, ein Gewicht tragen, aber nur kurze Zeit einathmen, nur kurze Zeit ausathmen. Wollen wir das Eine oder Andere länger fortsetzen, so fühlen wir die Grenze der willkührlichen Anstrengung. Jede Muskelbewegung kann aber die längste Zeit fortgesetzt werden, wenn sie mit anderen Bewegungen abwechselt. Es fehlt hier nicht an dem Nervenprincip, denn es wird zu anderen Bewegungen verwandt; es fehlt entweder an der Leitungsfähigkeit der Nerven oder Contractionskraft der Muskeln, wovon die eine oder die andere oder beide vielleicht durch die Bewegung erschöpft werden. Die regelmässige Aufeinanderfolge von Einathmen und Ausathmen, die regelmässige Folge von 3 Momenten bei den Fröschen deuten ziemlich deutlich an, dass weder die erste, noch die zweite Erklärungsart hinreicht, dass vielmehr in der Medulla oblongata eine unbekannte Ursache bewirkt, dass nach jeder Bewegung des Nervenprincips nach den Inspiratoren, jedesmal die Bewegung desselben nach den Exspiratoren erfolgt, und umgekehrt, so dass die eine Direction, wie beim

Pendel und bei der Wage, die nothwendige Ursache der entgegengesetzten ist. In der That fühlt sich am Ende des willkührlichen langen Einathmens nicht bloss eine Erschöpfung der Athemmuskeln, sondern auch die Nöthigung einer andern Gewalt, welche mit dem Einathmen im Widerspruch steht; und ebenso findet nach langem Ausathmen die Nöthigung zum Einathmen statt, was wir nur momentan durch Erhöhen der einen Kraft aufschieben, aber nicht auf die Dauer aufhalten können. Wäre die Ursache der abwechselnden Bewegung nicht schon in der Medulla oblongata begründet, läge sie bloss in der momentanen Erschöpfung der Nerven und Muskeln, so würden Einathmer und Ausathmer willkührlich von uns zugleich angestrengt werden, zu gleicher Zeit ausruhen, und zu gleicher Zeit wieder thätig werden können. Die Ursache der Abwechselung kann auch nicht in dem Gefühl des Bedürfnisses liegen, die mit Kohlensäure imprägnirte Luft auszutreiben und die reine Luft einzuathmen. Denn nach Durchschneidung des N. vagus am Halse und seines Ramus laryngeus superior auf beiden Seiten, sind alle Athmungsgefühle noch mehr als im Schlafe aufgehoben, und die periodischen Bewegungen dauern doch bei den Thieren fort. Es ist daher in der Medulla oblongata eine unbekannte Ursache vorhanden, welche das beständig sich entwickelnde Nervenprincip, abwechselnd in der einen und andern Richtung, entladet. Man hat wohl daran gedacht, dass die von der Verengerung und Erweiterung der Brust herrührende Verschiedenheit der Völle der Blutgefässe in den grossen Venenstämmen und den Venen des Gehirns die Ursache jenes Rhythmus seyn könne. Vergl. oben Bd. I. p. 338. Indess bewegt man sich sich bei dieser Hypothese offenbar im Cirkel. Ueberdiess zeigen uns die Fische mit ihren periodischen Bewegungen der Kiemendeckel, welche keinen Druck auf die Venen ausüben können, die vollkommene Unabhängigkeit dieser Impulse von äusseren Einflüssen. Die continuirliche Irritation der Medulla oblongata durch das arterielle Blut geht also durch eine noch unbekannte Ursache in eine periodische abwechselnde Entladung des Nervenprincips nach den Nervenfasern der Inspiratoren und Exspiratoren über, wovon die eine Entladung immer die Ursache ist, dass die andere antagonistische eintritt. Empfindungsreizungen in den Respirationswerkzeugen können durch Reflexion von der Medulla oblongata zuweilen Störungen in dieser Folge hervorbringen; so dass z. B. beim Husten mehrere Ausathmungen vorkommen, ohne dass jede derselben ein Einathmen hervorruft. Ausser den gewöhnlichen Athembewegungen treten bei gewissen Zuständen des Nervensystems, namentlich bei der Ermüdung und nach und vor dem Schlafe, zuweilen andere, vom Gehirn abhängige periodische Athembewegungen ein, wie das Gähnen, welches in einem tiefen Ein- und Ausathmen mit Affection des N. facialis besteht, wobei die im Gesicht sich verbreitenden Aeste Contractionen der Gesichtsmuskeln und der Ast zum Musculus digastricus maxillae inf. das weite Oeffnen des Mundes verursacht. Hieher gehört auch das in Nervenaffectionen periodisch eintretende Seufzen, Schluchzen.

Die Athembewegungen sind nicht die einzigen periodischen, zum täglichen Lebensverlauf gehörenden automatischen Bewegungen, die von den Centraltheilen des Nervensystems abhängig sind. Ein anderes Beispiel bieten uns die Augenmuskeln und die Iris im Schlafe dar. Bei dem Schlafenden ist das Auge etwas nach einwärts und aufwärts gestellt, und die Iris sehr eng, obgleich ganz beschattet. Schon vor dem Einschlafen nimmt das Auge diese Stellung an, und dass die Augen sich nach innen stellen, lässt sich deutlich aus der Lage der Doppelbilder erweisen, die der Schläfrige sieht, wenn er sich, im Begriff einzuschlafen, mit der Beobachtung überrascht. Sie liegen so wie beim Convergiren der Augen vor dem Objecte, das Doppelbild des rechten Auges liegt rechts, des linken Auges links. Es ist oben schon bewiesen worden, dass bei der willkührlichen oder unwillkührlichen Bewegung der Augen nach innen jedesmal die Iris verengt wird (Bd. I. p. 663). Beide vom N. oculomotorius abhängige Phänomene treten nun auch im Schlafe zusammen ein. Es tritt daher im Schlafe jedesmal eine automatische Bewegung der Augenmuskeln und der Iris ein, die während des Wachens nur willkührlich hervorgebracht wird. Das Princip der Nerven, während des Wachens auf so viele Functionen vertheilt, wird bei diesem Phänomen einer besonderen Provinz des Gehirns und den Leitern jener Bewegungen zugewendet. Vielleicht rührt indess die Stellung der Augen nach innen beim Einschlafen und die Verengerung der Pupille im Schlafe bloss von einem antagonistischen Verhalten der verschiedenen Aeste des N. oculomotorius her, so dass diese Bewegungen deswegen jedesmal eintreten, wenn der Levator palpebrae superioris zu wirken aufhört.

2. *Automatische Bewegungen des animalischen Systems mit Typus continens.*

Nicht bloss periodisch unwillkührliche Bewegungen des animalischen Systems sind von den Centraltheilen des Nervensystems abhängig, gewisse unaufhörlich thätige Bewegungen, die selten durch Gegendruck eine Unterbrechung erleiden, sind auch von jenen Theilen abhängig. Dahin gehören die Sphincteren des animalischen Systems. Obgleich wir die Action dieser Muskeln willkührlich verstärken können, so sind sie gleichwohl fortdauernd im Schlafe wie im Wachen contrahirt; wir können ihre Thätigkeit nicht willkührlich unterbrechen, es sey denn, dass wir durch ihre Antagonisten einen Gegendruck gegen sie ausüben. Es gehört hieher vorzüglich der Sphincter ani, auch der Sphincter vesicae, so weit nämlich das animalische Nervensystem auch auf diesen Einfluss hat. Die Kraft und die Zusammenziehung dieser Muskeln hängt vom Rückenmarke ab. Verletzungen desselben sind die Ursache ihrer beständigen Erschlaffung und des unwillkührlichen Abgangs der Excremente und des Harns, eine Wirkung, die auch bei deprimirenden Leidenschaften, welche die Kraft des Rükkenmarks schwächen, zuweilen eintritt. Marshall Hall hat gezeigt, dass der Sphincter ani der Schildkröte noch seine Kraft behält, so lange nicht der untere Theil des Rückenmarkes zerstört ist. Die Wirkung der Sphincteren muss von einer unauf-

hörlichen motorischen Erregung der betreffenden Nerven abhängen. Wir werden jedoch bei der Lehre von den antagonistischen Bewegungen Thatsachen kennen lernen, welche beweisen, dass nicht bloss die Sphincteren, sondern eigentlich alle animalischen Muskeln dieser beständigen motorischen Erregung ausgesetzt sind.

Wir sehen nach den bisher betrachteten Thatsachen theils periodische, theils dauernde unwillkührliche Bewegungen, vom Gehirne und Rückenmarke abhängig. Dasselbe beobachten wir in den Krankheiten dieser Organe; sowohl beständige Contracturen, als abwechselnde, oft sehr regelmässige Zuckungen, beständiges Wanken des Kopfes, Zittern, und die auch in Perioden eintretenden tonischen Krämpfe sind Ausdruck der Zustände dieser Organe. Die Ursachen dieser Typen sind unbekannt, man weiss nur, dass beständige Contracturen mehr bei ganz örtlichen und unveränderlichen Degenerationen beobachtet sind, obgleich jede Degeneration auch periodische Krampfanfälle verursachen kann. Im Allgemeinen kann man sagen, dass fast alle mit Bewegungen verbundene Nervenkrankheiten Anfälle machen, und selbst die Rückenmarksentzündung bewirkt, bei gleich fortschreitender Ursache, ihre tetanischen Krämpfe doch in Anfällen. Diese Erscheinungen, so wie die Perioden der epileptischen Anfälle bei gleichbleibenden Ursachen, scheinen uns zu lehren, dass die Excitabilität der Centralorgane durch dauernde Krankheitsursachen von der dauernden Impression eben so sehr erlischt, wie die Excitabilität der Nerven für Sinneseindrücke durch die damit verbundene materielle Veränderung der Nerven momentan aufhört, und dass die Reactionsfähigkeit gegen Einflüsse in beiden Fällen von der während der Zeit der Ruhe hergestellten Excitabilität abhängt. Phänomene, welche für alle solche gesunde oder krankhafte Symptome typisch sind, sind das Vergehen des Eindrucks eines lange betrachteten farbigen Fleckens und sein Wiedererscheinen, und jene im Sensorium sich täglich erneuende Periodicität des Wachens und Schlafes; denn auch hier hören die Reactionen auf, obgleich die Impressionen fortdauern, und die Reactionen erscheinen gegen die fortdauernden Eindrücke von selbst wieder.

III. Antagonistische Bewegungen. Die Muskelbewegungen treten nicht bloss von Zeit zu Zeit, auf die vom Nervensystem aus erfolgenden Entladungen des Nervenprincips ein. Es sind Gründe vorhanden, anzunehmen, dass besonders im animalischen Muskelsystem die leise Contraction der Muskelfasern niemals ganz aufhört und dass sie auch in den sogenannten Zeiten der Ruhe schwächer fortdauert. Man kann diess nicht allein aus der Retraction der durchschnittenen Muskeln des lebenden Körpers ersehen, sondern noch entschiedener aus dem Umstande, dass Muskeln von selbst noch einen bedeutenden Grad von Contraction äussern, wenn nur ihre Antagonisten durchschnitten oder gelähmt sind. Bei der einseitigen Lähmung der Gesichtsmuskeln ziehen die Gesichtsmuskeln der entgegengesetzten Seite von selbst die Gesichtszüge nach ihrer Seite hin. Bei der halbseitigen Lähmung der Zunge wird diese beständig nach der andern Seite

hingezogen. Nach der Exstirpation des mittlern Theiles der Unterkinnlade, wodurch die Muskeln ihre Fixation verlieren, welche das Zungenbein vorwärts ziehen (vorderer Bauch des digastricus, mylohyoideus, geniohyoideus) und welche die Zunge vorwärts ziehen (genioglossus), wird das Zungenbein durch den Stylohyoideus, und die Zunge durch den Styloglossus so kräftig nach rückwärts gezogen, dass die grösste Gefahr der Erstickung entsteht. Man sieht aus allem diesem, dass die ruhige Lage verschiedener Theile unseres Körpers nicht der Ausdruck einer absoluten Ruhe der Muskeln ist, dass vielmehr die verschiedenen Muskelgruppen durch gleiche Gegenwirkung sich das Gleichgewicht halten, und dass jedesmal, wenn die Lage eines Theiles aus seiner mittlern Stellung des sogenannten Zustandes der Ruhe verändert wird, die Bewegung eines der im Antagonismus begriffenen Muskeln oder mehrerer derselben verstärkt wird. Fast an allen Theilen des Körpers giebt es antagonistische Gruppen von Muskeln. An den Extremitäten sind es die Flexoren und Extensoren, die Supinatoren und Pronatoren, die Abductoren und Adductoren, die Rotatoren nach auswärts und einwärts. Häufig sind auch die Bündel der Nervenfasern für diese Gruppen in besonderen Nerven vereinigt. Die Beuger der Hand und Finger werden z. B. vom N. medianus und ulnaris, die Strecker vom N. radialis versehen; die Beuger des Vorderarms sind vom N. musculo-cutaneus, die Strecker vom Radialis mit Nervenzweigen versorgt. Die Strecker des Unterschenkels sind vom N. cruralis, die Beuger vom N. ischiadicus abhängig. Die Musculi peronaei, welche den äussern Fussrand heben, sind vom N. peronaeus abhängig; der Tibialis posticus ist vom N. tibialis versehen. Die Motoren des Fusses und der Zehen nach rückwärts abwärts sind vom N. tibialis, die Motoren des Fusses und der Zehen in entgegengesetzter Richtung vom N. peronaeus abhängig. Die häufig in einer Richtung erfolgenden Krämpfe bei Affectionen des Rückenmarkes, wie der Opisthotonus, Emprosthotonus, und Pleurotonus im Wundstarrkrampf zeigen auch, dass in der Anordnung der Fasern in den Centraltheilen die gleichzeitige Bewegung der Extensoren oder der Flexoren etc. erleichtert seyn muss; wiewohl Bellingeri's Ansicht, dass die vorderen Stränge des Rückenmarks der Flexion, die hinteren der Extension dienen, keine erfahrungsmässige Basis hat. Man darf diese Bemerkung jedoch nicht in zu grosser Ausdehnung gelten lassen. Das oben erwähnte Factum von der Vertheilung der Nerven ist nicht allgemein. Zuweilen giebt derselbe Nerve Zweige an Antagonisten, wie der Hypoglossus an die Abwärtszieher des Zungenbeins und an einen Vorwärtszieher desselben; der N. peronaeus an die Musculi peronaei, die den äussern Fussrand heben, und an den Tibialis anticus, welcher ihnen entgegenwirkt. Mit der grössten Leichtigkeit können sich antagonistische Muskeln in ihren Wirkungen verbinden. Die Peronaei und der Tibialis anticus werden zu Hebern des Fusses, wenn sie zugleich wirken. Der Flexor radialis und die Extensores radiales der Hand werden Abductoren der Hand, wenn sie zusammen wirken. Auch hat sich der von Ritter angenommene Gegensatz der Flexo-

ren und Extensoren in Beziehung auf den galvanischen Reiz nicht bestätigt. Vergl. oben Bd. I. p. 602.

Manche Muskeln sind so angelegt, dass sie nur geringe oder gar keine Antagonisten haben; in diesem Falle wirken diese Muskeln auch beständig für eine bestimmte Lage der Theile. So sind viele Muskeln vorhanden, um den Oberschenkel nach auswärts zu rollen, wie die Gesässmuskeln, die Obturatoren, der Pyriformis, die Gemelli, der Quadratus femoris; die Rollung des Schenkels nach einwärts ist nur schwach dem Tensor fasciae latae anvertraut. Daher die unwillkührliche Neigung zur Auswärtswendung der ganzen Extremität beim Gehen, Sitzen, Liegen. Muskeln ohne eigentliche Antagonisten sind auch die Sphincteren. Man kann daher die beständige Verschliessung der Oeffnungen durch die Sphincteren allein aus der Thatsache ableiten, dass das Contractionsspiel aller Muskeln auch im Zustande der Ruhe nicht aufhört. Diese Muskeln müssen, ohne dass vorzugsweise nach ihnen ein beständiger Strom des Nervenprincips stattfindet, schon deswegen geschlossen seyn, weil sie eigentlicher Antagonisten ermangeln. Sie öffnen sich, wenn der Inhalt der Blase, des Mastdarms sich angehäuft hat und die dadurch erregte stärkere Zusammenziehung der Wände den Inhalt gegen sie hintreibt. Die Iris, auch ein Sphincter zieht sich beständig im Wachen und noch stärker im Schlafe zusammen. Auch bei gleichem Lichteinflusse im Wachen sieht man beständig die Iris unduliren. Siehe Henle, *Encyclop. Wörterb. d. med. Wissensch. Art. Gedächtniss.*

Der Antagonismus der Muskelbewegungen ist von grosser pathologischer Wichtigkeit. Durch Aufhebung des Gleichgewichts der Muskelbewegungen können Krümmungen entstehen. Der Klumpfuss z. B., welcher sowohl beim Fötus nach den ersten Monaten der Schwangerschaft, als nach der Geburt entstehen kann, hat in vielen Fällen in dem aufgehobenen Gleichgewichte der Muskeln, welche den innern und äussern Fussrand heben, seine Ursache, und wird auch durch Herstellung dieses Gleichgewichtes oft geheilt. Entweder befinden sich die Muskeln, welche den äussern Fussrand heben, Peronaei, in einem halbgelähmten Zustande; oder die Muskeln, welche den innern Fussrand heben, in lähmungsartiger Contractur. In beiden Fällen muss der äussere Fussrand auftreten und der Fuss durch den Tibialis posticus nach einwärts gezogen werden. Allmählig ändert sich auch die Stellung der Skelettheile in den Gelenken; so dass das Os naviculare in der Regel nach einwärts gewendet wird und der zum Theil entblösste Kopf des Astragalus auf dem Rücken des Fusses eine Hervorragung bildet. Beim Pferdefusse, wo die Ferse hoch erhoben ist und der Fuss auf den Zehen auftritt, sind die Gastrocnemii in straffer Contractur und doch zuweilen atrophisch. Contractur und Atrophie der Muskeln schliessen sich nicht aus. Es giebt eine lähmungsartige Schwäche der Muskeln mit Contractur derselben (siehe Ollivier *traité de la moëlle épinière et de ses maladies II. p.* 709.), und wir haben selbst Contractur der Gastrocnemii mit Atrophie derselben verbunden gesehen.

Wenn auch die Verkrümmungen der Wirbelsäule oft ihren

Grund in scrophulöser Entzündung der Intervertebralbänder und Wirbel mit Erweichung, Aufschwellung, Eiterung und Substanzverlust ihren Grund haben, so entstehen sie doch noch häufiger durch das gestörte Gleichgewicht der Muskeln des Rumpfes. Dergleichen Skoliosen geben sich z. B. daran zu erkennen, dass keine Zeichen von Rhachitis vorhanden sind und dass die Verkrümmung durch gymnastische Uebungen verbessert wird. Diese Erscheinungen sind also denjenigen analog, welche man bei dem Klumpfuss und Pferdefuss beobachtet. Bei der Vereiterung einer Lunge ist die Lähmung der Brustmuskeln auf dieser Seite nur scheinbar. Die Brust hebt sich hier nicht, weil die Lunge nicht ausgedehnt werden kann.

IV. Reflexionsbewegungen.

Die Natur der Reflexionsbewegungen ist bereits im ersten Bande (p. 688.) ausführlich erläutert; es gehören hieher alle Bewegungen, welche auf ursprüngliche Erregung von Empfindungsnerven entstehen und wo die Vermittelung der centripetalen und centrifugalen Strömung durch das Gehirn und Rückenmark entsteht. Man kann zwei Hauptgruppen dieser Phänomene unterscheiden.

A. Reflexionsbewegungen des animalischen Systems.

Hieher gehören die Reflexionsbewegungen der von Gehirn- und Spinalnerven versehenen Muskeln, mag nun die centripetale Erregung in den animalischen oder organischen Nerven, z. B. in der äussern Haut oder im Darmcanal, entstanden seyn. Der Husten von Reizung der Schleimhaut der Lungen und des Kehlkopfes; das Erbrechen von Reizung der Schleimhaut des Schlundes, Magens, Darms; das Harndrängen und der Stuhlzwang, so weit sie mit ausgebreiteten Muskelbewegungen verbunden werden, von Reizung der Schleimhaut der Urinblase, des Mastdarms; das Niesen von Reizung des Sehnerven und der Nasennerven; die Bewegung der Iris von Reizung des Sehnerven; die Zusammenziehung des Schlundes von der Berührung der Schleimhaut desselben, und so viele, ja unzählige Phänomene, die früher bei der Lehre von den Reflexionsbewegungen ihre Erklärung gefunden, gehören hieher. Desgleichen jene Menge der sogenannten sympathischen Krämpfe in Krankheiten, die Empfindungsreizungen bewirken, und jene so leicht und von so vielen Orten aus erregbare Convulsibilität der Kinder, der Weiber etc. Die Reflexionsbewegungen auf Empfindungsreize sind meistentheils vorübergehende oder auch anhaltende Zusammenziehungen der willkührlichen Muskeln. Bei einem hohen Grade der Irritation des Rückenmarkes durch Empfindungsreize können die unwillkührlichen Reflexionsbewegungen der willkührlichen Muskeln auch schnell wiederholte rhythmische Contractionen seyn. So z. B. das Zittern bei Application der Moxen, bei langem Aufenthalt im kalten Bade, das eben dann auch erfolgende Zähneklappern. Am merkwürdigsten sind indess in dieser Hinsicht die rhythmischen Contractionen der Dammmuskeln nach wollüstiger Reizung der

Genitalien, die rhythmische Austreibung des Samens durch diese Bewegungen. Diess ist um so merkwürdiger, als die Samenbläschen sich nicht rhythmisch, sondern anhaltend wurmförmig zu bewegen scheinen. Durch die letztere Bewegung gelangt der Inhalt ununterbrochen in die Harnröhre; durch die rhythmischen Contractionen des M. bulbocavernosus wird der Inhalt in der Harnröhre weiter befördert.

B. Reflexionsbewegungen des organischen Systems.

Hieher gehören die Reflexionsbewegungen der nur unwillkührlich beweglichen Muskeln, mag nun die centripetale, zuerst auf das Gehirn und Rückenmark verpflanzte Erregung von Gehirn- und Rückenmarksnerven oder von Organen ausgegangen seyn, die vom organischen Nervensystem versehen sind. Die hieher gehörigen Phänomene sind auch bereits oben Bd. I. p. 716. u. f. in extenso untersucht. Von allen Stellen des Körpers aus kann die Bewegung des Herzens durch Reflexion einer Empfindungsreizung verändert werden, wobei das Rückenmark auch wieder die Mittelsperson spielt. Eine Bemerkung, die wir früher bei dieser Materie nicht gemacht haben, muss jedoch hier hervorgehoben werden. Es handelt sich um den Antheil der Reflexion an dem, was wir Fieber nennen. Diese Umbra morbi, welche sich in so vielen Theilen des Körpers ausspricht und doch in der Regel, vielleicht immer einen ganz localen Grund hat, ist nicht allein mit Veränderungen des Herzschlages (und deswegen auch des Pulses) verbunden, sie spricht sich in einem Complex von Symptomen aus, die ihre Verbindung nur durch das Rückenmark finden. Die allgemeine Empfindung der Heftigkeit einer Krankheit, diese Lassitudo kann nichts anders als der Ausdruck der Impression seyn, welche eine heftige örtliche Krankheit auf das Rückenmark macht. Die Gefühle der Hitze und Kälte, die Schauder, sind Symptome, welche sich auf den Zustand jenes Organes gründen. Die Veränderung der meisten Absonderungen vom organischen sowohl als animalischen Theil des Leibes kann auch nur in jenen, wenn nicht beide Systeme gleich beherrschenden, aber doch regulirenden Centralorganen ihre Erklärung finden. Dass Delirien dabei vorkommen oder nicht, drückt nur die Stärke der Impression auf die Centralorgane aus. Wenn nun alle diese Erscheinungen von einer örtlichen Ursache ihre Erklärung nicht in den räthselhaften Eigenschaften des Sympathicus, sondern in der bekannten Reflexionsfähigkeit des Rückenmarks und Gehirns finden, so ist auch die bei dem Fieber constante Veränderung des Herzschlags und seine Häufigkeit als Ausdruck der Reflexion zu betrachten. Die örtlichen Affectionen der Gehirn- und Rückenmarksnerven erregen nicht leicht eine solche Impression auf das Rückenmark, die wir Fieber nennen; sie bewirken zwar auch oft Reflexionserscheinungen, z. B. Krämpfe, aber nicht jenen Complex von Erscheinungen des häufigen Herzschlags, der veränderten Absonderungen, Empfindungen und Wärmeerzeugung bis zum Delirium. Dagegen entstehen die Fiebersymptome durch nichts

leichter, als durch eine heftige Veränderung der organisch-chemischen Actionen in den Capillargefässen irgend eines Theiles, sey es nun Veränderung des Zustandes der Schleimhäute oder Entzündung in irgend einem Organe. Da nun bei diesen Veränderungen das organische Nervensystem nicht allein eine Rolle spielen, sondern noch sicherer die Impression auf das Rükkenmark und Gehirn verpflanzen muss, so liegt es sehr nahe anzunehmen, dass die bei dem Fieber von einem Organ aus auf das Rückenmark oder auch zugleich auf das Gehirn verpflanzte und von dort aus weiter reflectirte Impression von einer heftigen Mitleidenschaft der organischen Nerven irgend eines Organes bei Entzündung und anderer Reizung ausgehe. Siehe über Fieber übrigens auch den Artikel Harn.

V. Associirte Bewegungen, Mitbewegungen.

Die hieher gehörigen Phänomene sind auch bereits in der Nervenphysik Bd. I. p. 662. zergliedert worden. Das Eigenthümliche derselben besteht darin, dass der Impuls zu einer an sich willkührlichen Bewegung eine unwillkührliche zugleich hervorruft; wie die Bewegung der Iris mit der Stellung des Auges nach Innen eintritt. Die Association der Bewegungen ist um so grösser, je weniger ausgebildet das Nervensystem ist. Durch die Erziehung erst lernen wir den Nerveneinfluss bei der willkührlichen Bewegung auf eine gewisse Summe der vom Gehirn abgehenden Primitivfasern isoliren. Der Ungeschickte macht viele associirte Bewegungen mit einer intendirten willkührlichen. Der Clavierspieler hingegen zeigt uns das andere Extrem, wo die Isolation des Nerveneinflusses auf gewisse Gruppen der Bewegungen den höchsten Grad erreicht hat. Der Mangel der Isolation bedingt im Gesicht den ungebildeten Ausdruck; die Ausbildung derselben hingegen ist zum grossen Theil Ursache der Bestimmtheit, Schärfe und des Ausdruckes der Gesichtszüge. Bewegungen, welche sich leicht associiren, sind theils die gleichnamigen der einen und andern Seite, theils die von demselben Nervenstamme abhängigen. Ein Beispiel der erstern ist die immer gleichzeitige Bewegung der Iris in beiden Augen; selbst im Gesicht und an den Extremitäten ist die Tendenz zu dieser Mitbewegung vorhanden. Die einseitige Bewegung des Augenliedes, der Ohrmuskeln ist schwer und manchem unmöglich, und bei der Ausübung schnell aufeinander folgender entgegengesetzter Rotationen mit beiden Armen fühlen wir einen innern Widerstand, der diese Bewegungen beständig stört, so dass sie unwillkührlich in gleichartige Bewegungen beider Extremitäten übergehen.

Einige der merkwürdigsten Thatsachen von Mitbewegung und Antagonismus finden an den Augenmuskeln statt. Die gleichnamigen Zweige der N. oculomotorii beider Augen sind nämlich in einer angebornen und aus Uebung nicht zu erklärenden Tendenz zur Mitbewegung. Wir können immer nur beide Augen zugleich nach oben, oder beide nach unten, oder beide nach innen drehen, und niemand vermag das eine Auge nach abwärts und zugleich das andere nach aufwärts zu wenden. Da diese

Tendenz zur Mitbewegung von der Geburt an und vor der Erziehung des Gesichtssinnes stattfindet, so kann sie nur in der Organisation der Ursprünge der N. oculomotorii liegen. So auffallend nun die Tendenz zur Mitbewegung in den gleichnamigen geraden Augenmuskeln, welche vom N. oculomotorius versehen werden, ist, so merkwürdig ist der Mangel dieser Tendenz zur Mitbewegung in den geraden äusseren Muskeln beider Augen und in den beiden N. abducentes. Wir können zwar in einem gewissen Grade beide N. abducentes und dadurch die äusseren geraden Muskeln beider Augen zugleich wirken lassen, indem wir die Convergenz der Sehachsen vermindern und die Augen bis zur parallelen Stellung der Sehachsen führen; aber hier ist auch die Grenze; und niemand vermag, bei noch so grosser Anstrengung die Augen zur Divergenz zu bringen. Der Grund davon liegt nicht in der Schwäche der Musculi recti externi, noch in der Art ihrer Insertion, denn diese sind gerade, wie bei den übrigen geraden Augenmuskeln; diese Erscheinung entspringt auch nicht aus der Angewöhnung; denn sie ist auch angeboren und der Neugeborne, obgleich er noch nichts zu fixiren vermag, kann seinen Augen jede Stellung, aber keine divergirende geben. Aus dem Antagonismus des Rectus internus, der vom N. oculomotorius versehen ist, kann die Erscheinung auch nicht erklärt werden. Der Rectus externus eines einzelnen Auges kann durch Wirkung des N. abducens dieses Auge ganz nach aussen stellen; der Abducens des andern Auges kann es auch an diesem Auge allein; aber beide Abducentes können durchaus nicht zugleich die Wirkung ausführen, die jeder einzelne allein ausüben kann. Kurz es ist Thatsache, dass die gleichnamigen Aeste des N. oculomotorius beider Augen eine angeborne Tendenz und Nöthigung zur Mitbewegung haben, und dass diese Tendenz den N. abducentes beider Augen nicht allein fehlt, dass vielmehr die starke Wirkung des einen die Wirkung des andern ausschliesst. Diese prästabilirten Gewalten in beiderlei Nerven sind für die Bewegungen der Augen zum Zweck des Sehens von der grössten Wichtigkeit. Wir wollen einmal die Voraussetzung machen, die Natur hätte statt des N. abducens einen Ast des N. oculomotorius zum Musculus rectus externus gehen lassen, so würde bei der Tendenz zur Mitbewegung in gleichnamigen Aesten der Oculomotorii beider Augen allerdings die Divergenz der beiden Augen so leicht seyn, wie sie es jetzt nicht ist, so leicht, als jetzt die Convergenz ist; aber die gleichzeitige Bewegung beider Augen, des einen nach aussen, des andern nach innen, mit Parallelismus oder Convergenz der Sehachsen, wie wir die Augen bei dem schiefen Blick auf seitliche Gegenstände richten, würde dann nicht möglich seyn. Der Musculus rectus externus des einen Auges wird mit dem Rectus externus des andern Auges die Tendenz zur Mitbewegung haben, gerade so, wie es bei den gleichnamigen Aesten des Oculomotorius beider Augen ist. Beide Augen werden also gleichzeitig entweder nach oben durch den Rectus superior, oder gleichzeitig nach unten durch den Rectus inferior, oder gleichzeitig nach innen durch den Rectus internus,

oder gleichzeitig nach aussen durch den Rectus externus gezogen werden; die Wendung des einen Auges nach innen, des andern nach aussen wäre dann gar nicht möglich. Dass diese Bewegung möglich wird, war ein eigener Nerve der N. abducens nöthig, der keine Tendenz zur Mitbewegung mit dem der andern Seite hat. Nun kann das eine Auge *A* durch den Abducens nach aussen, das andere *B* durch den Rectus internus nach innen bewegt werden. Bei der Tendenz zur Mitbewegung beider Recti interni wird zwar auch in dem Auge *A* eine Tendenz zur Stellung nach innen entstehen; diese wird aber durch die stärkere Wirkung des N. abducens auf *A* überwunden. Diese nothwendige stärkere Bewegung des Musculus abducens fühlen wir in der That bei der mit Anstrengung verbundenen Bewegung eines Auges ganz nach aussen. Diese aus sicheren Thatsachen folgende Theorie erklärt vollkommen die bisher für unerklärlich gehaltene Thatsache, dass der Musculus rectus externus bei allen Wirbelthieren einen eigenen Nerven, den N. abducens erhält. Vgl. Jessen, *Beiträge z. Erkenntniss d. psychisch. Lebens.* 1831. 183.

Auf diese Art lässt es sich auch erklären, warum der obere schiefe Augenmuskel einen eigenen Nerven, den N. trochlearis, erhalten musste, der gleichfalls nicht die Tendenz zur Mitbewegung mit dem der andern Seite hat. Wir müssen zuerst die Wirkung der Musculi obliqui feststellen. Der Musculus obliquus inferior zieht das Auge nach innen und oben, wie man sich leicht an der Leiche, bei unversehrter Augenhöhle überzeugen kann, wenn man den Obliquus inferior von vorn präparirt und dann gegen seinen Ursprung anzieht. Der Obliquus superior dreht oder rollt das Auge nach unten und etwas aussen. Bell hat diess schon aus Versuchen an Thieren und an Leichen bewiesen. *Untersuchungen des Nervensystems. p.* 153. Bei einem von mir angestellten Versuche, wo ich den Muskel ohne grössere Verletzung von oben blosslegte, ohne dass das Auge von seinem Fettpolster verrückt wurde, und dann den Muskel anzog, sah ich immer das Auge sich im Segment eines Cirkels nach unten und ein wenig nach aussen rollen. Die Auswärtsbewegung ist viel geringer als die Einwärtsbewegung durch den Musculus obliquus inferior. Wirken beide Muskeln zusammen oder zieht man sie zugleich gegen ihre Ursprünge an, so wird das Auge vorgezogen und nach innen gestellt. Der Musculus obliquus superior hat keine Tendenz zur Mitbewegung mit dem der andern Seite, sein Nerve verhält sich in dieser Hinsicht, wie der N. abducens. Bei der Bewegung des einen Auges nach aussen und unten, geht das andere Auge nicht auch nach aussen und unten, sondern nach innen und unten; diess Verhältniss ist angeboren; es beweist, dass die Bewegung des Musculus obliquus superior in einem Auge durch den N. trochlearis die Thätigkeit des Trochlearis des andern Auges ausschliesst. Mit dem Obliquus inferior ist es ganz anders; er stellt das Auge nach innen und oben durch einen zur Mitbewegung geneigten Zweig des N. oculomotorius; diese Bewegung ist bei beiden Augen gemeinschaftlich leicht und erfolgt sogar unwillkührlich im Schlafe. Man

kann diese Stellung des Auges im Schlafe und in Nervenzufällen als den Ausdruck der gleichzeitigen Bewegung aller Zweige der Aeste des N. oculomotorius zu den Augenmuskeln versehen. Die Muskeln sind auch im Zustande der Ruhe ein wenig contrahirt. (Siehe oben p. 81.) Denkt man sich nun alle Aeste des N. oculomotorius zu den Augenmuskeln schwach incitirt, so müssen beide Augen nach innen und oben gestellt werden. Der Rectus superior und inferior halten sich das Gleichgewicht; der Rectus internus zieht es nach einwärts und der Obliquus inferior nach oben und einwärts, und da die gleichnamigen Aeste des N. oculomotorius für beide Augen die Tendenz zur Mitbewegung haben, so ist diese Stellung beider Augen gleichzeitig nach innen und oben. Wir wollen nun wieder den Fall zergliedern, wenn die Natur statt des N. abducens einen Ast des N. oculomotorius zum Rectus externus abgegeben hätte; dann wäre die gleichzeitige Bewegung des einen Auges nach innen und oben, des andern nach aussen und oben, wie sie so oft geschieht, nicht möglich. Der Obliquus inferior des Auges *A* und die gleichzeitige Wirkung des Rectus internus und superior würden das Auge nach innen und oben stellen. Die zur Mitbewegung tendirenden Musculi rectus internus und superior des Auges *B* würden dieses auch nach innen und oben stellen, also die genannte Stellung nicht möglich seyn.

Es war also auch für diese Bewegung ein eigener Nerve, der N. abducens, nöthig, der keine Tendenz zur Mitbewegung mit dem des andern Auges hat. Wirken am Auge *A* Musculus obliquus inferior, Rectus internus und superior und wird es nach innen und oben gestellt, so kann das Auge *B* trotz der gleichzeitigen Bewegungstendenzen dieser Muskeln an diesem Auge durch verstärkte Wirkung des N. abducens nach aussen, und durch Zusammenwirkung des Rectus externus und Rectus superior nach oben und aussen geführt werden. Eben so ist es bei der gleichzeitigen Stellung des einen Auges nach unten und innen, des andern nach unten und aussen. Ist das Auge *A* durch den Rectus internus und Rectus inferior nach innen und unten gestellt, so drehen der zur Mitbewegung geneigte Rectus inferior und der N. abducens das Auge *B* nach aussen und unten. Diese letztere Bewegung wird verstärkt durch den N. trochlearis, der keine Tendenz zur Mitbewegung in dem gleichnamigen des andern Auges hervorruft. Der N. trochlearis gehört übrigens auch zu den physiognomischen Nerven.

Die Mitbewegung der Iris mit der verstärkten Action des N. oculomotorius haben wir schon oben Bd. I. p. 663. erläutert. Wenn die von diesem Nerven abhängigen Muskeln an beiden Augen auch nur schwach unwillkührlich sich zusammenziehen, wie es alle Muskeln im Zustande der sogenannten Ruhe noch thun, so werden beide Augen nach innen und oben gestellt, denn der Rectus superior und inferior halten sich das Gleichgewicht, der Rectus internus und obliquus inf. stellen es nach innen und oben. Diese Action des Oculomotorius ist immer mit der Tendenz zur Mitbewegung in der vom N. oculomotorius kommenden kurzen

Wurzel des Ganglion ciliare und daher mit Zusammenziehung der Iris verbunden. Da der Nervus abducens mit dem der andern Seite keine Tendenz zur Mitbewegung hat und eben so wenig der N. trochlearis, so muss das Auge im Zustande des Schlafes durch die zur Mitbewegung geneigten Muskeln beider Augen nach innen und oben gestellt werden und eben so nothwendig die Iris im Schlafe zusammengezogen seyn. Die willkührliche Stellung der Augen nach innen und nach innen und oben durch Mitbewegung beider Augen, macht auch die Iris zusammengezogen, weil sie sich jedesmal mit der verstärkten Action des Oculomotorius zusammenzieht. Siehe oben Bd. I. p. 663. Der N. abducens steht hingegen mit der Action des N. oculomotorius im Antagonismus. Wird das Nervenprincip dem N. abducens zugewandt; wird auch nur ein Auge nach auswärts gezogen, so wird auch die Iris regelmässig wieder weit und noch mehr, wenn beide Augen bis zum Parallelismus der Sehachsen abgezogen werden.

Auch die organischen Muskeln sind den Gesetzen der Association oder Mitbewegung einigermassen unterworfen. Je mehr Muskeln unseres Körpers willkührlich und je länger sie angestrengt werden, um so mehr tritt eine Veränderung des Herzschlages ein; die dabei erfolgende Häufigkeit des Herzschlages lässt sich nämlich nicht allein aus der Störung des Kreislaufes erklären, wie bereits oben Bd. I. p. 722. mit Gründen bemerkt wurde. Die Bewegung der willkührlichen Muskeln hat auch Einfluss auf die des Darmcanals; je mehr wir die Muskelbewegung versäumen, um so leichter tritt auch ein Zustand der Torpidität im Tractus intestinalis ein, und jedermann ist bekannt, wie vortheilhaft die Muskelbewegungen des animalischen Systems auf die Regelmässigkeit der Bewegungen des Darmcanals und die Regelmässigkeit der Excretionen einwirken.

VI. Bewegungen, welche von Zuständen der Seele abhängen.

Die hieher gehörigen Bewegungen bilden 3 Classen; Bewegungen, die durch blosse Vorstellungen bedingt werden; leidenschaftliche Bewegungen; willkührliche Bewegungen.

A. Bewegungen auf Vorstellungen.

Gewisse Gruppen der Muskeln des animalischen Systems sind beständig in einer Disposition zu unwillkührlichen Bewegungen wegen der Leichtigkeit der Affection ihrer Nerven, oder vielmehr der Reizbarkeit der Hirntheile, von welchen sie entspringen. In diesem Falle befinden sich alle respiratorischen Nerven, den N. facialis eingeschlossen. Diese Reizbarkeit, diese Neigung zu Entladungen zeigt sich schon in dem von Zeit zu Zeit aus inneren Ursachen eintretenden Niesen; aber auch die Zustände der Seele können die Entladung des Nervenprincips nach den Athemmuskeln bedingen. Jeder schnelle Uebergang in den Zuständen der Seele ist im Stande eine Entladung nach diesen Nerven von der Medulla oblongata aus zu bewirken. Das Sensorium wirkt hier gerade so, wie der einzelne Nerve, in dem jede schnelle Veränderung seines Zustandes, auf was immer für eine Art, das Nervenprincip in Thätigkeit setzt (Vergl. p. 62.). Hiernach ist es zu beurtheilen, dass selbst ohne alle Leidenschaft ein so schneller

Uebergang der Vorstellungen, wie er bei dem Eindruck des Lächerlichen stattfindet, jene Entladung bewirkt, die sich dann in den Gesichtsmuskeln und Athemmuskeln äussert.

Hieher gehört auch das Gähnen, insofern es durch die Vorstellung des Gähnens oder durch das Hören oder Sehen des Gähnens veranlasst werden kann. Die Disposition zu den respiratorischen und Gesichtsbewegungen des Gähnens ist nämlich dann schon vorher da gewesen; sie tritt in Erscheinung, indem durch die Vorstellung die Bewegung des Nervenprincips die bestimmte Direction erhält. Auch bei dieser Bewegung wirken die Respirationsnerven und der N. facialis sowohl mit seinen Gesichtsästen, als dem sich über den Musculus digastricus verbreitenden Aste. Plötzlich hervorgerufene Vorstellungen von furchtbaren oder verabscheuungswürdigen Gegenständen erregen, auch wenn sie durch blosse erdichtete Erzählungen hervorgerufen werden, bei reizbaren Menschen zuweilen die Muskelbewegung des Schauders, und dasselbe geschieht zuweilen bei der blossen Vorstellung eines ekelhaften Arzneistoffes; ja die Vorstellung des ekelhaften Geschmackes kann sogar Vomiturition hervorbringen.

B. Bewegungen durch Leidenschaften.

Der respiratorische Theil des Nervensystems ist auch vorzugsweise der unwillkührlichen Bestimmung durch leidenschaftliche Seelenzustände unterworfen. Es bestätigt sich hier wieder, dass jede schnelle Veränderung im Gehirn, welche auf die Medulla oblongata sich fortpflanzt, sogleich den Modus der Athembewegungen, die Wirksamkeit aller Athemnerven mit Einfluss des respiratorischen Nerven des Gesichts verändert. Die Natur der Leidenschaften, welche Spinoza im 3. und 4. Theil seiner Ethik aufgeklärt hat, wird erst im 6. Buch dieses Handbuchs untersucht werden. Man kann hier nur so viel erwähnen, als zum Verständniss des Folgenden nöthig ist. Der Grund aller Gemüthsbewegung ist nach Spinoza, dessen unübertrefflicher und von Niemand erreichter Zergliederung der Leidenschaften wir durchaus folgen, das Streben der Seele, einen bestimmten Zustand zu behaupten, und was diesem Zustand gemäss ist, zu erzielen. Wird diese beständig in der Seele vorhandene Affirmation, was ihrem jedesmaligen Zustand nützlich ist, zu behaupten, durch ein Object gefördert, so ist die Gemüthsbewegung Freude, und indem das Object, was so wirkt, was für nützlich und in diesem Sinne gut gehalten wird, bald höherer, bald niederer Art und nach seiner Natur wieder sehr verschieden ist, entstehen verschiedene Leidenschaften, deren Grundzustand allgemein derselbe ist, und welche bloss nach dem Object, welches dem Beharrungsstreben der Seele angemessen ist, verschieden sind. Alle Gemüthsbewegungen oder Leidenschaften dieser Art kann man reizende, incitirende nennen. Wird hingegen die beständig in der Seele vorhandene Affirmation, einen bestimmten Zustand, den sie für nützlich, gut hält, zu behaupten, durch irgend etwas gehemmt, so ist die Gemüthsbewegung Niedergeschlagenheit, und je nachdem das Object, was für gut gehalten wird, verschieden ist, entstehen aus dieser zweiten Grund-

leidenschaft wieder verschiedene Gemüthsbewegungen. Das Streben selbst, das für gut und einem gewissen Seelenzustande für zweckmässig Erscheinende zu erzielen, ist das Begehren, welches wieder nur nach seinen Objecten verschieden ist. Viele Leidenschaften sind zusammengesetzt, theils durch den Kampf mehrerer der obigen elementaren Gemüthsbewegungen, theils durch die Objecte. Spinoza hat sie sämmtlich nach einer mathematischen Methode analysirt und eine Art Statik der Leidenschaften gegründet, welche uns mit der grössten Bestimmtheit zeigt, was bei einem Menschen in dem Conflict der Leidenschaften geschehen muss, so lange er als bewegt und unfrei gedacht wird. Die kalte Vernunft allein wirkt allen Leidenschaften zugleich entgegen, sie allein affirmirt nur das Vernünftige, der Seelenzustand in der Leidenschaft nur das augenblicklich für zweckmässig, nützlich, für relativ gut Gehaltene, welches in Beziehung auf die Forderungen der Vernunft bald gut, bald auch schlecht seyn kann.

Dass das affective Princip in einer besondern Provinz des Sensoriums residire, von wo aus es seine Wirkungen ausstrahle, lässt sich bei dem Mangel aller Gründe weder beweisen, noch widerlegen. Die Wirkungen erfolgen übrigens nach allen Richtungen der motorischen Leiter, welche je nach dem Zustande der Leidenschaft entweder excitirt oder geschwächt und gar paralysirt werden.

In den excitirenden Leidenschaften erfolgen Spannungen und oft selbst convulsivische Bewegungen, namentlich der von den respiratorischen Nerven und dem N. facialis abhängigen Muskeln. Nicht allein wird das Gesicht verzerrt, auch die Athembewegungen werden bis zum Weinen, Seufzen, Schluchzen verändert. Jede heftige Leidenschaft, von was immer für einer Art, kann Weinen und Schluchzen hervorbringen. Man kann vor Freude, Schmerz, Zorn, Wuth weinen. In den deprimirenden Leidenschaften, wie in der Angst, in der Furcht, im Schrecken sind alle Muskeln des ganzen Körpers abgespannt, indem der motorische Einfluss des Gehirns und Rückenmarkes abnimmt. Die Füsse tragen nicht, die Gesichtszüge werden hangend, das Auge starr, der Blick wie gebannt und kaum der ausweichenden Bewegung fähig, die Stimme wird unterdrückt und vergeht. Manche Gemüthsbewegungen sind gemischt, indem die Seele von einer deprimirenden Vorstellung nicht frei werden kann, aber das Selbsterhaltungsstreben excitirend wirkt auf Entfernung der bedrängenden Einflüsse. In diesen gemischten Leidenschaften kann der Ausdruck der Abspannung in gewissen Muskeln, namentlich des Gesichts, mit der Thätigkeit anderer verbunden seyn; mögen nun die durch Abspannung gewisser Muskeln frei gewordenen Antagonisten die Gesichtszüge in einer Richtung bewegen oder diese Muskeln selbst convulsivisch bewegt werden. Oft auch, sowohl in den gemischten als in den deprimirenden Leidenschaften, tritt ein Zittern, Beben einzelner Gesichtsmuskeln ein. Die willkührliche Bewegung eines in der Leidenschaft halb gelähmten Muskels wird auch zitternd werden müssen, weil er nicht mehr ganz dem Einflusse des Willens gehorcht. Wir erfahren diess na-

mentlich an den Gesichtsmuskeln, wenn wir sie in einer deprimirenden oder gemischten Leidenschaft bewegen wollen; diese Muskeln zittern dann und auch die Muskeln des Stimmorganes beben, und die versuchte Sprache wird bebend.

Der sensibelste Leiter leidenschaftlicher Zustände ist der N. facialis; es ist der physiognomische Nerve, und sein Umfang nimmt schon bei den Säugethieren in dem Maasse ab, als die Gesichtszüge an beweglichem Ausdruck verlieren. Bei den Vögeln hat er keinen Einfluss mehr auf den Ausdruck des Gesichtes; nur seine in den Zungenbeinmuskeln und im Hautmuskel des Halses sich verbreitenden Zweige sind noch übrig, und die Sträubung der Haut des Halses oder bei einigen Vögeln der Ohrfedern ist der einzige Ausdruck, wodurch er noch leidenschaftliche Zustände darstellt. Ausser dem N. facialis werden die respiratorischen Nerven, sowohl die inneren, wie die Kehlkopfnerven und der Zwerchfellnerve, als die äusseren, der Brust- und Bauchmuskeln, in den Leidenschaften leicht afficirt. Bei stärkeren Gemüthsbewegungen verbreitet sich jedoch die Wirkung auf alle Rückenmarksnerven bis zur unvollkommenen Lähmung und zum Zittern.

Der so äusserst verschiedene Ausdruck der Gesichtszüge in den verschiedenen Leidenschaften zeigt, dass je nach der Art der Seelenzustände ganz verschiedene Gruppen der Fasern des N. facialis in Thätigkeit oder Abspannung gesetzt werden. Die Gründe dieser Erscheinung, dieser Beziehung der Gesichtsmuskeln zu besondern Leidenschaften sind gänzlich unbekannt. Ueber die mimischen Bewegungen siehe Huschke *mimices et physiognomices fragment. physiol. Jen.* 1821.

C. Willkührliche Bewegungen.

Zur Erregung der willkührlichen Bewegung sind nur die animalischen Nerven, die Gehirn- und Rückenmarksnerven fähig. Die Geschichte der Rückenmarksverletzungen zeigt, dass die Spinalnerven bloss dadurch der willkührlichen Bestimmung fähig sind, dass die Fasern der Rückenmarksnerven in dem Rückenmarke aufwärts steigen und in der Quelle aller willkührlichen Bewegungen, der Medulla oblongata, dem Willenseinflusse ausgesetzt werden. Anderseits beweist sowohl der Ursprung der meisten Hirnnerven von der Medulla oblongata und die Möglichkeit, die von anderen Hirntheilen entspringenden motorischen Hirnnerven bis zur Medulla oblongata künstlich zu verfolgen, so wie die Geschichte der Hirnverletzungen, dass auch die Thätigkeit der motorischen Hirnnerven den Impuls zu willkührlichen Bewegungen von der Medulla oblongata erhält. Siehe oben Bd. I. 842.

Man kann sich vorstellen, dass in diesem Hirntheile die Fasern aller motorischen Hirnnerven und Rückenmarksnerven explicirt werden. Der Wille setzt diese Faserursprünge, wie die Tasten eines Claviers, in Thätigkeit. Zur willkührlichen Bewegung gehört nur die Erregung einer Strömung oder einer Oscillation in den Ursprüngen einer gewissen Summe von Fasern der Medulla oblongata. Alles Uebrige ist blosser Mechanismus. Der Wille kann nicht bis durch den ganzen Verlauf der Nervenfasern fortwirken; diese vollführen von selbst die motorische

Action bis in die entferntesten Theile. Eine gespannte Saite, ein elastischer Faden gerathen in ihrer ganzen Länge in Bewegung, sobald sie in irgend einem Theile ihrer Länge angesprochen werden. Ebenso ist es mit den Nervenfasern; das in ihnen wirksame Princip hat eine solche Tension, dass die geringste Oscillation des Nervenprincips, in irgend einem Theile der Länge einer Faser erregt, die ganze Faser auf der Stelle in Thätigkeit setzt, und die Bewegung des Muskels am peripherischen oder Muskelende der Faser erfolgt. Also nur die Ursprünge der Gehirn- und Rückenmarksnerven werden von dem Willenseinflusse selbst in Thätigkeit gesetzt. Alles Uebrige ist blosser Mechanismus der motorischen Nervenwirkung. Bei der Zergliederung der willkührlichen Bewegung könnte es also bloss darauf ankommen, zu erklären, wie es kömmt, dass bei der willkührlichen Bestimmung in der Medulla oblongata die Ursprünge der Nervenfasern in Action gerathen; wie es kömmt, dass augenblicklich hier Strömungen oder Oscillationen entstehen. Die Lösung dieser Aufgabe ist bei dem jetzigen Zustande der Wissenschaft und vielleicht immer unmöglich. Das Einzige, was wir thun können, ist, die Thatsache in der grössten Einfachheit hinzustellen.

Man könnte sich vorstellen, dass die willkührliche Bewegung von der Intensität einer im Sensorium bewusst gewordenen Vorstellung vom Zwecke und der Nothwendigkeit ihrer unmittelbaren Ausführung abhänge. Jedesmal, wenn diese Vorstellung ein Maximum der Intensität erreicht hätte, würde dann die zur Erreichung des Zweckes nöthige Bewegung eintreten. Diese Ansicht widerlegt sich leicht; denn dann müsste die Bewegung mit beschleunigter Geschwindigkeit wachsen, wie die Intensität jener Vorstellung zunähme. Man könnte sich ferner vorstellen, die willkührliche Bewegung erfolge jedesmal dann, wenn das Sensorium von der Vorstellung ihrer unmittelbaren Nothwendigkeit zur Erreichung eines Zwecks ganz eingenommen und wenn diese Vorstellung von keiner andern neutralisirt ist; sie erfolge, wenn im Sensorium nichts, als der einzige Gedanke von der unmittelbaren Nothwendigkeit derselben, und durchaus kein Zweites oder Drittes vorhanden ist. Wenn ich sage, ich will jetzt diess oder jenes thun, und ich thue es doch nicht, so ist entweder bloss die Vorstellung des Wollens und nicht das Bewusstseyn der unmittelbaren Nothwendigkeit der Ausführung vorhanden gewesen; oder die Ausführung ist durch irgend etwas neutralisirt worden. Ist aber die absolute Gewissheit von der unmittelbaren Nothwendigkeit einer Bewegung vorhanden und nichts Neutralisirendes da, so entstehe, könnte man sagen, auch nothwendig die zur willkührlichen Bewegung nöthige Strömung oder Oscillation des Nervenprincips. Wollen wäre dann nichts anders, als dass etwas als absolut nothwendig vorgestellt, den Ausschlag des Seelenzustandes giebt, und die entstehende Strömung in der Medulla oblongata wäre dem Senken des Waagbalkens zu vergleichen, dessen Gleichgewicht von dem Gleichgewichte der Actionen der Seele abhänge. Indessen lässt sich leicht beweisen, dass die Bewegung nicht bloss dann eintritt, wenn nur die eine Vorstellung von der absoluten

Nothwendigkeit einer Bewegung und keine andere vorhanden ist. Denn wir sind im Stande, drei und mehr verschiedene Bewegungen, die nicht den geringsten Zusammenhang haben, lange neben einander fortzuführen. Wir lesen, singen, spielen, präpariren und singen und rauchen gar dazu. Dann aber hängt der letzte Grund der willkührlichen Bewegung von keiner Vorstellung eines Zweckes ab; denn die willkührlichen Bewegungen erfolgen schon beim Fötus, ehe irgend ein Zweck vorgestellt wird, ehe eine Vorstellung von dem, was durch die willkührliche Bewegung vollbracht wird, möglich ist; wir müssen uns die Sache durchaus einfacher machen.

Wie werden die ersten willkührlichen Bewegungen beim Fötus veranlasst? Die ganze Zusammensetzung der Zustände, unter welchen bei Erwachsenen willkührliche Bewegungen eingeleitet werden, fehlt hier. Der eigene Körper des Fötus ist hier allein die Welt, welche dunkele Vorstellungen in ihm hervorbringt und auf welche er zurückwirkt. Er bewegt seine Glieder anfangs nicht zur Erreichung eines äussern Zweckes; er bewegt sie bloss, weil er sie bewegen kann. Da indess zur willkührlichen Bewegung eines einzelnen Theiles bei dieser Voraussetzung kein Grund vorhanden ist, vielmehr der Fötus hiernach gleichviel Grund hat, alle seine Muskeln zugleich zu bewegen, so muss irgend eine Ursache bestimmen, dass gerade diese oder jene willkührlichen Bewegungen eintreten, dass jetzt dieser, dann jener Fuss oder Arm angezogen wird.

Die Kenntniss der Lageveränderungen, welche durch bestimmte Bewegungen hervorgebracht werden, wird erst allmählig und durch die Bewegungen selbst erworben; das erste Spiel des Willens auf einzelnen Gruppen der Faserursprüngen der motorischen Nerven in der Medulla oblongata kann daher offenbar noch keinerlei Zweck der Lageveränderung haben; es ist ein blosses Spiel ohne alle Vorstellung von den Wirkungen, welche davon in den Gliedern hervorgebracht werden. Durch diese zwecklose willkührliche Excitation der Faserursprünge entstehen bestimmte Bewegungen, Lageveränderungen, Empfindungen davon; die Excitation gewisser Fasern erregt immer dieselben Bewegungen, Lageveränderungen und ihre zum Bewusstseyn kommenden Empfindungen. Hierdurch entsteht die Verknüpfung gewisser Empfindungen mit gewissen Bewegungen im dunkeln Bewusstseyn. Wird hernach ein gewisser Theil des Körpers von aussen zu einer Empfindung angeregt, so ist schon so viel Erfahrung im Sensorium vorhanden, dass die darauf erfolgende willkührliche Bewegung auch an dem gereizten Gliede sich äussern wird, dass das angeborne Kind das gedrückte Glied auch bewegt und nicht alle Glieder zugleich reagirend bewegt. Auf diese Art müssen sich die willkührlichen Bewegungen auch bei den Thieren ausbilden. Ein Vogel, der zu singen anfängt, setzt aus einer innern instinctmässigen Nöthigung willkührlich die Ursprünge der Nerven seiner Kehlkopfsmuskeln in Action; hierdurch entstehen Töne. Durch die Wiederholung dieses Spiels lernt erst der Vogel die Art der Ursache mit der Art der Wirkung

verknüpfen. Der Instinct dieser traumartig und unwillkührlich wirkenden Impulse im Sensorium hat auch beim Menschen gleich anfangs Antheil an der Hervorrufung gewisser an sich willkührlicher Bewegungen. Im Sensorium des neugebornen Kindes ist eine Nöthigung zu Saugbewegungen der Mundtheile; aber die Ausführung dieser Bewegungen im Einzelnen ist wieder ein ganz willkührliches Spiel. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich, dass die willkührliche Excitation der motorischen Nervenursprünge etwas Unmittelbares und Ursprüngliches, mit der Ausbildung des Thieres Gegebenes ist, und dass die Ursache der willkührlichen Bewegungen von keinem vorgestellten Zwecke, wie beim Erwachsenen, abhängig ist.

Wir haben schon aus vielen anderen Thatsachen gesehen, dass das in der Medulla oblongata wirksame Nervenprincip in einem ausserordentlichen Grade von Spannung ist, dass die geringste Veränderung des Status quo das Gleichgewicht der Vertheilung aufhebt und Entladungen hervorbringt, wie sie sich durch Lachen, Niesen, Schluchzen etc. äussern. So lange das Gleichgewicht sich erhält, sind wir zu allen willkührlichen Bewegungen aller Körpertheile gleich geschickt, und das ist der Zustand der Ruhe. Jede Bewegungstendenz, welche von der Seele ausgeht, stört diess Gleichgewicht und bewirkt eine Entladung in bestimmter Richtung, d. h. erregt eine gewisse Summe Fasern des motorischen Nervenapparates.

Der Einfluss des Willens auf die Fasern des motorischen Apparates ist nicht das einzige Factum dieser Art. Die Centraltheile aller Gehirn- und Rückenmarksnerven, auch der sensibeln und der Sinnesorgane, sind der willkührlichen Intention fähig. Es ist für die Theorie der willkührlichen Bewegungen von Wichtigkeit, diese Erscheinungen zu zergliedern. Unsere Sinneserscheinungen sind gewöhnlich mit einer beständigen Mitaction des Willens verbunden. Indem wir eine zusammengesetzte Figur erblicken, prägen wir uns bald diesen, bald jenen Theil derselben lebhafter ein; wir nennen diess Aufmerksamkeit. Wir sehen z. B. eine architectonische Rose, ein Vieleck, dessen Winkel durch Linien verbunden sind. Obgleich nun das Bild dasselbe bleibt, empfinden wir bald diesen, bald jenen Theil der Figur lebhafter, bald sehen wir die Peripherie, bald einzelne Dreiecke, bald Vierecke, welche in das Ganze hineingelegt sind, lebhafter. Diess geschieht nicht bloss, indem wir durch Bewegungen der Augen mit den Sehachsen diese Figuren verfolgen und gleichsam beschreiben, sondern bei unverwandtem Blick prägt die Intention, die Aufmerksamkeit bald diesen, bald jenen Theil der Figur der Anschauung lebhafter ein, während die übrigen zwar empfunden werden, aber unbeachtet bleiben. Durch die Mitwirkung dieser die Gesichtsempfindungen begleitenden Intention kömmt es, dass wir zuweilen aus sehr dunkeln Gesichtseindrücken doch eine ganz bestimmte Gestalt zu erkennen glauben, wobei wir uns oft täuschen. Dasselbe findet beim Gehörsinn statt, und hier ist es noch deutlicher, dass diese Veränderung der Sinneseindrücke durch die Intentio nicht von Muskelbewegungen abhängt. Bei

dem Spiel eines ganzen Orchesters sind wir selten so passiv, dass wir alle Töne, die gleichzeitig gehört werden, bloss nach der Stärke derselben lebhaft empfinden. Im Gegentheil, wir sind im Stande, das Spiel eines schwächern Instrumentes durch die stärkeren Töne der anderen zu verfolgen, wobei wir diese unbeachtet lassen. Sagen uns zwei Personen verschiedenes in beide Ohren, so können wir den Worten des Einen mit Aufmerksamkeit folgen, während wir die des Andern überhören. Was bei einem und demselben Sinnesorgane stattfindet, kann auch bei gleichzeitiger Affection verschiedener Sinnesorgane geschehen. Je nach der Richtung der Intentio übersehen wir etwas, während wir dabei etwas lebhaft hören, und umgekehrt; denn die Intention kann nur ein Object auf einmal lebhaft zur Anschauung bringen.

Diese Zergliederung der Sinnesempfindungen durch die Aufmerksamkeit geschieht häufig ganz unwillkührlich, ohne alle Absicht nach den Gesetzen der Association der Vorstellungen. Allein wir können die Intention auch willkührlich bei den Sinnesempfindungen wirken lassen. Sagen uns zwei Personen zugleich etwas ins Ohr, so hängt es ceteris paribus von unserm Willen ab, welche von beiden wir verstehen. Es liegt in unserer Wahl, zwischen gleichzeitig stattfindenden Gesichtsempfindungen, Gehörempfindungen, Geschmacksempfindungen u. s. w., eine derselben allein lebhaft zu empfinden, während die anderen so dunkle Eindrücke hervorbringen, dass sie nicht zu unserm Bewusstseyn kommen. Und dasselbe findet wieder bei einer einzigen Sinnesempfindung statt; wir können sie willkührlich zergliedern; wir können willkührlich das Spiel der Geige unter dem ganzen Orchester lebhafter empfinden, willkührlich die einzelnen durch das Ganze durchstrebenden Theile der architektonischen Rose lebhafter anschauen. Kurz der Wille wirkt hier eben so stark, wie bei den Bewegungsnerven. Der einzige Unterschied ist nur, dass der Wille bei den Bewegungen die ruhige Nervenfaser excitiren kann, während bei der Mitwirkung des Willens in den Sinneserscheinungen die Empfindung durch die willkührliche Intention nur lebhafter wird.

Die willkührliche Intention ist auch nicht bloss auf Bewegungsnerven und Empfindungsnerven beschränkt; sie wirkt auch bei den Seelenactionen des Sensoriums. Unser Vorstellungsvermögen ist zwar ohne alle willkührliche Direction thätig; die Phantasie producirt, wenn die anderen Seelenäusserungen ruhen, unaufhörlich Gestalten, Bilder farblos, lichtlos, weil sie ohne Empfindung sind; ja diese Bilder werden durch Wechselwirkung mit den Centralorganen der Sinnesorgane selbst leuchtend und farbig. Denn wer sich aufmerksam beobachtet, sieht aus dem Traum erwachend, obgleich wach, zuweilen doch die Traumbilder noch wirklich blasslicht mit offenen Augen, wie ich gar oft mich überzeugt habe und schon Spinoza einmal an sich beobachtete. Siehe J. Mueller *über die phantastischen Gesichtserscheinungen. Coblenz* 1826. Sind wir auch nicht im Stande während des Wachens willkührlich leuchtende Bilder bei geschlossenen Augen zu produciren, so vermögen wir doch willkührlich unsere Vorstel-

lungen zu dirigiren. Kurz wir sehen, dass die willkührliche Intention vom Sensorium aus nach allen Richtungen auf motorische Nerven, sensorielle Nerven und die Seelenactionen wirkt; die willkührliche Hervorrufung von Actionen ist eben nichts anders, als die spontane, mit Bewusstseyn verbundene Intention des Nervenprincips im Gehirn auf verschiedene Apparate, von deren Natur es abhängt, ob das willkührlich Hervorgerufene eine Bewegung, oder eine lebhaftere Empfindung, oder eine Vorstellung ist. Man kann sich diese willkührliche Intention vorläufig als eine spontane, mit Bewusstseyn hervorgerufene Strömung oder Schwingung des Nervenprincips nach jenen Apparaten vorstellen.

Man kann, wie in Hinsicht der Freiheit des Willens überhaupt, so in Hinsicht der willkührlichen Bewegung auf den Gedanken kommen, dass es gar keine freie Willkühr hierbei gäbe, und das, was man so nennt, nur eine Verkettung von Nothwendigkeiten sey, die kein anderes Endresultat, als das Gewollte haben können. Bald ist es, könnte man sagen, eine Empfindung, bald ein leidenschaftlicher Zustand, bald eine Vorstellung und die Association mehrerer Vorstellungen, die uns Bewegungen so nothwendig ausführen lassen, dass sie gleichsam nur das letzte Resultat dieser Verkettung und so unvermeidlich sind, wie der Schluss aus den Prämissen folgt. Die Leidenschaft kann eine Bewegung bewirken; die Nöthigung zu dieser Bewegung kann, da die Leidenschaft die Seele ganz occupirt, den höchsten Grad erreicht haben, und wenn die Vernunft sie nun widerräth und unterbleiben lässt, so liegt es doch wieder, kann man sagen, in der Verkettung dieser Facta, dass die Bewegung unterbleibt. Was geschieht, könnte man sagen, ist der blosse factische Schluss von dem, was im Bewusstseyn liegt. Kennte man die ganze Entwickelung des Menschen, alle Anteacta vor einer Handlung, alle Einwirkungen vor derselben, die Stärke seiner Leidenschaften und den Grad der Entwickelung der Vernunft-Principien in ihm, so könnte man wahrscheinlich seine Handlungsweise in jedem Moment seines Lebens berechnen. Nach dieser Ansicht wäre die willkührliche Bewegung die von dem selbstbewussten Ich vom Sensorium aus ausgeführte Intention des Nervenprincips auf die motorischen Nerven, deren Direction von der augenblicklichen Bestimmung des Ichs durch irgend einen klar vorgestellten oder verborgen wirkenden Grund abhängt. Eine unwillkührliche Bewegung kann auch ins Bewusstseyn fallen, aber nur nachdem sie geschehen ist, durch die Empfindungen, die sie hervorbringt; hierdurch würden sich willkührliche und unwillkührliche Bewegungen in gleichen Muskeln des animalischen Systems unterscheiden. Da die Art und der Ort der willkührlichen Bewegung nach dieser Ansicht jedesmal von der Bestimmung des Ichs durch irgend einen klar vorgestellten oder verborgen wirkenden Grund abhängt, so scheint diese Ansicht alle Freiheit des Willens aufzuheben und es bliebe nur die Freiheit des Willens im höhern moralischen Sinne, nämlich dass die Seele nicht an und für sich genöthigt ist, den äusseren oder inneren leidenschaftlichen Bestimmungen zu folgen, dass sie vielmehr in dem Grade von der

Vernunft selbst bestimmt werden kann, als das Vernünftige in ihr schon zum Bewusstseyn gekommen ist. Diess ist bekanntlich der Begriff der Freiheit im Sinne SPINOZA's, wie er ihn im letzten Buche der Ethik entwickelt.

Bei der Durchführung dieser Ansicht finden sich grosse Schwierigkeiten. Zu jeder Krümmung eines Wurmes würde ein blosses spontanes Spiel des Nervenprincips nicht hinreichen. Es müsste jedesmal das Sensorium desselben von irgend einem Grunde bestimmt werden, dass dieser und nicht ein anderer Theil der Nerven dirigirt werde, und eben so ist es beim Fötus, dessen im 5. Monate schon beginnende Bewegungen ohne Absicht und ohne Kenntniss der Wirkungen, die sie haben, willkührlich erfolgen. Hier würden also die Gründe, die das Ich bestimmen, bald diesen, bald jenen Theil des Nervenapparates in Thätigkeit zu setzen, ganz unbekannt seyn. Das Einzige, was man sich hier als Veranlassung zur Bestimmung des Ichs für Intention bestimmter Nervenfasern vorstellen könnte, wäre, dass diejenigen Gruppen von Nervenfasern, die eine Zeitlang der Intention nicht ausgesetzt waren, zur Intention am meisten prädisponirt sind. Erwägt man die lebhaften willkührlichen Bewegungen des Neugebornen, die noch ohne Kenntniss ihres Erfolges geschehen, so muss man alle Gedanken aufgeben, Gründe für die Bestimmung des Ichs zu diesen Intentionen des Nervenprincips nachzuweisen, wenn man nicht etwa eine instinctmässig wirkende Macht auf das Sensorium einwirken lässt, von deren Impulsen die Direction und Folge der vom Ich bewusst intendirten Bewegungen eingegeben werden. Diejenigen, welche dieser Ansicht folgen, können sich darauf berufen, dass jede Fähigkeit zu ihrer Aeusserung in einer bestimmten Art unter vielen möglichen Arten auch bestimmende Gründe nothwendig habe. Es liegt in der Natur einer Pflanze, so und solche Blätter und Stengel zu haben, dass aber das Individuum einer Pflanze seine Aeste so, das andere so treibt, in ungleicher Zahl und Stellung, kann von keiner gesetzlosen Spontaneität, sondern nur von bestimmten inneren Ursachen, die im Fortschritte der Entwickelung zum Vorschein kommen, abhängen.

Bleibt man bei der Ansicht, dass das Princip der willkührlichen Bestimmung im selbstbewussten Ich gelegen, proteusartig ohne Grund und äussere Bestimmung jede Bewegung intendiren kann und nur deswegen auch auf veranlassende Ursachen bestimmte Bewegungen hervorruft, weil es eben jede Bewegung aus sich selbst hervorrufen kann, wie der gewöhnliche Begriff der Willkühr ist, so sind alle jene Schwierigkeiten abgeschnitten; aber damit ist auch der Versuch einer wissenschaftlichen Erklärung aufgegeben.

Die Bestimmung der Quantität des Nerveneinflusses bei der willkührlichen Bewegung, oder die Stärke der Oscillation und die Stärke der Bewegung hängen von denselben Ursachen, wie die Bestimmung der Oertlichkeit der willkührlichen Bewegung ab. Beide haben eine gewisse Grenze. Am leichtesten ist die willkührliche Bewegung ganzer Muskelgruppen (obgleich bei der An-

strengung vieler Muskeln zugleich auch die Kraft früher erschöpft), und man kann im Allgemeinen sagen, dass eine willkührliche Bewegung um so schwieriger auszuführen ist, je weniger Nervenfasern dabei wirken sollen und je kleiner der bewegte Theil seyn soll. Das Nervenprincip setzt viel leichter viele Nervenfasern, als wenige in Thätigkeit; daher die Leichtigkeit der Mitbewegungen. Viele Menschen sind nicht einmal im Stande, einzelne Gesichtsmuskeln, einzelne Abzieher oder Anzieher der Finger, einzelne Ohrmuskeln zu bewegen; sie können es nur, wenn sie andere Muskeln mitbewegen. Dagegen sind alle im Stande, die einzelnen Bäuche des Flexor sublimis und profundus der Finger zu bewegen. Ob wir einzelne Strecken eines langen Muskels für sich willkührlich in Thätigkeit setzen können, ist sehr zweifelhaft. Die Localisation der Einwirkung des Nervenprincips bei dem willkührlichen Einfluss ist hier jedenfalls viel geringer, als bei gelegentlichen unwillkührlichen Reizungen. Aus inneren Ursachen zuckt oft eine ganz kleine Strecke eines Muskels, z. B. des Biceps brachii. Diess kömmt bei willkührlichen Bewegungen nie vor. Durch vielfache Uebung nimmt unser Vermögen die Intention des Nervenprincips auf einzelne Gruppen von Nervenfasern zu isoliren zu; und je häufiger gewisse Nervenfasern die Strömungen oder Oscillationen des Nervenprincips aus willkührlichen Bestimmungen erfahren, um so mehr bildet sich ihre Fähigkeit zur isolirten Wirkung, wie beim Clavierspielen u. dgl. aus. Nach oft wiederholter Bewegung einzelner Muskeln in kurzer Zeit tritt jedoch ein Hinderniss ein und es entsteht auch bei dem Geübten ein Ungeschick, so wie die Kraft unserer Bewegungen durch unterbrochene Anstrengungen verstärkt wird, aber nach jeder grossen Anstrengung für kurze Zeit scheinbar abnimmt. Die Erklärung dieser Phänomene ergiebt sich aus den Bd. I. p. 52. angestellten Betrachtungen. Die Irritation des Nerven und Muskels verändert seinen Zustand und macht ihn augenblicklich ungeschickt, wie die Retina für einen längern Eindruck unempfindlich wird, in dem Maasse, als sie dadurch materiell verändert wird. Aber die Intention des Nervenprincips auf bestimmte Fasergruppen ist auch die Ursache, dass diese gerade vorzugsweise während der Ruhe sich restauriren und an Reactionskraft zunehmen. Abwechselung von Ruhe und Anstrengung ist daher das Geheimniss, wodurch wir unsere Organe für die Anstrengung stärken. Dagegen Muskeln und Nerven, denen die Intention des Nervenprincips sehr selten zu Theil wird, wie die Ohrmuskeln, an Bewegungsfähigkeit auch verlieren.

Die Frage, warum die dem N. sympathicus unterworfenen Theile dem Willen entgegen sind, ist schon in der Nervenphysik Bd. I. p. 721. untersucht und ebendaselbst sind auch die Thatsachen erörtert worden, welche beweisen, dass willkührliche Entladungen des Nervenprincips nach den willkührlichen Muskeln nicht ganz ohne gleichzeitigen Einfluss auf die unwillkührlichen sind. Die Bewegung der Iris mit gewissen Stellungen des Auges, die Häufigkeit des Herzschlages bei langer Anstrengung von vielen Muskeln und der wohlthätige Einfluss der Körperbewegungen auf die Bewe-

gungen des Darmcanals sind Beispiele, die p. 722. erläutert worden sind.

Sehr gewohnte Bewegungen erfolgen zuletzt bei der geringsten Intention, wie die mimischen Bewegungen der Hände beim Sprechen. Aus allem diesem folgt, dass sich die Leitungsfähigkeit der Nervenfasern mit der Häufigkeit ihrer Erregung ausbildet. Daher dunkle Vorstellungen ohne deutliches Bewusstseyn oft ganz bestimmte und zweckmässige Bewegungen hervorrufen, wenn sie nur öfter in dieser Folge dagewesen sind.

II. Capitel. Von den zusammengesetzten willkührlichen Bewegungen.

Wir verstehen hierunter alle Verbindungen von Bewegungen zu bestimmten Gruppen unter Mitwirkung des Seelenorganes. Die im vorigen Capitel abgehandelten Arten der Bewegung können hier als Elemente in die Zusammensetzung eingehen. Namentlich gehören hieher die gleichzeitigen Reihen der willkührlichen Bewegungen nach mehreren Reihen von Vorstellungen, die Associationen der Bewegungen und der Vorstellungen mit den Bewegungen, die instinctartigen Bewegungen, die coordinirten Bewegungen bei der Ortsveränderung.

1) *Gleichzeitige Reihen von Bewegungen.*

Die willkührliche Bewegung für einen gewissen Zweck kann an den verschiedensten Theilen des Körpers zugleich stattfinden; aber es können auch willkührliche Bewegungen für ganz verschiedene Zwecke zugleich ausgeführt werden. Es schreibt einer und raucht zugleich; man liest die Noten unter Bewegungen der Augenmuskeln, sowohl die für den Gesang, als die für das Spiel, und singt und spielt zugleich. Wie soll man sich die Gleichzeitigkeit dieser Thätigkeiten erklären? Sind wir in der That im Stande, verschiedene Reihen von Vorstellungen, die keinen Zusammenhang haben, zu gleicher Zeit zu verfolgen, oder kann zu einer Zeit immer nur eine Vorstellung ins Bewusstseyn fallen, und entsteht eine so zusammengesetzte Action, wie das scheinbar gleichzeitige Notenlesen, Singen und Spielen, doch durch ein beständiges schnelles Abspringen der Intention auf die verschiedenen Reihen von Acten, die zu jener Action gehören? Das Erste ist, zu erfahren, ob überhaupt die Seele zwei Reihen von Vorstellungen nebeneinander verfolgen kann. Wenn sie diess kann, so werden auch die zweckmässigen Bewegungen beiden entsprechend hervorgebracht werden können. Die willkührliche Bewegung verschiedener motorischer Apparate, z. B. der Stimmmuskeln und der Finger zugleich, hat überhaupt keine Schwierigkeit der Erklärung. Denn es ist gleich, ob mehrere zugleich bewegte Muskeln an einem und demselben Gliede liegen oder sehr entfernt von einander sind; in beiden Fällen ist die Intention des Nervenprincips auf eine gewisse Summe von Nervenfaserursprüngen gerichtet. Die Schwierigkeit liegt darin, zu entscheiden, ob die zwei Reihen von Vorstellungen als Ursachen der Intention der

Nervenfasern zugleich stattfinden können. Ein einfaches Beispiel zur nähern Zergliederung ist das gleichzeitige lebhafte Durchdenken einer Angelegenheit bei einem damit gar nicht in Verbindung stehenden Gang. Wir wollen Jemand besuchen, sind auf der Strasse so vertieft in anderen Gedanken, dass wir die Begegnenden nicht einmal bemerken und die Grüssenden nicht sehen, und doch kommen wir an dem Orte an, an den wir uns gleich anfänglich begeben wollten. Während der Vertiefung in einer besondern Reihe von Gedanken folgten wir doch zugleich der Reihe von Bildern der Häuser und Strassen, durch welche wir uns fast unbewusst in Hinsicht der aufzusuchenden Wohnung orientirten.

Das beste Beispiel zur Auflösung dieser Frage liefert aber der Unterricht in den Bewegungen. Hier sind sie noch so langsam, ihre Verbindung noch so schwer und ungeschickt, dass wir die Natur bei ihrem Vorgange belauschen können. Soll ein Anfänger im Spiel der Guitarre oder des Claviers zugleich singen und spielen, so sieht man deutlich, dass er die Gesang- und Spielnoten nicht zugleich lesen kann. Ist die Gesangnote aufgefasst und soll sie gesungen werden, so fehlt oft noch die Claviernote und das Spiel des Claviers stockt, während der Gesang bereit ist und umgekehrt. Es liegt hierbei weniger am Lesen, als am Transponiren des Gelesenen in Bewegungsideen. Jede Note wird in unserm Sensorium zur Bewegungstendenz dieser oder jener Muskeln der Finger und des Kehlkopfes transponirt, und neben diesen zweien gleichzeitigen Reihen von Transpositionen der gelesenen Noten in Bewegungsintentionen, läuft noch die dritte nebenher, die Umsetzung der gelesenen Wörter in Bewegungsintentionen für die Sprachwerkzeuge. Die letztere macht uns keine Schwierigkeit beim Gesange, weil wir darauf von Jugend auf eingeübt sind; aber die Schnelligkeit der ersteren Transpositionen wird erst durch Uebung erlangt. Aus dem vorher erwähnten Beispiel sieht man sehr deutlich, dass die von mehreren Vorstellungen abhängigen willkührlichen Bewegungen zwar gleichzeitig ausgeführt, aber nicht gleichzeitig concipirt werden können. Auch der Geübte liest fast mit Blitzesschnelligkeit dann die Gesangnoten, dann die Musiknoten; dadurch entsteht die Vorstellung von ihrem Zeitverhältniss zu einander, und die nun im Sensorium entstandene Transposition in Bewegungsintentionen wird dann gleichzeitig ausgeführt. Man könnte einwerfen, dass da zur verschiedenen Ausdauer der den zweierlei Noten entsprechenden Bewegungen die volle Erinnerung an ihren Werth gehöre, während sich das Sensorium schon mit den folgenden Noten beschäftigt, also das Sensorium zweierlei Dinge zugleich im Gedächtniss festhalten und ein drittes concipiren könne, auch die gleichzeitige Conception von mehreren Bewegungsreihen, die von verschiedenen Vorstellungen abhängig seind, zugleich möglich seyn müsse. Dieser Einwurf ist jedoch nur scheinbar richtig; denn die Ausdauer einer Bewegung, dem Werthe einer Note entsprechend, erfordert keine Intention des Sensoriums; es wird vielmehr hierbei jede Bewegung so lange

fortgeführt, bis sie durch eine neue Bewegungsintention, die durch eine gelesene Note erfordert wird, abgebrochen wird. Die Gleichzeitigkeit der verschiedensten Bewegungen hat, um es nochmals zu sagen, gar keine Schwierigkeit; denn es ist nicht schwerer, Kehlkopfs- und Fingermuskeln zugleich zu bewegen, als mehrere Armmuskeln zugleich zu bewegen; aber die Conception dieser Bewegungen aus verschiedenen Reihen von Vorstellungen kann, wie es scheint, nur hinter einander, wenn auch mit Blitzesschnelligkeit, geschehen. Wir kommen jetzt auf das, früher erwähnte Thema zurück. Wir gehen in Gedanken vertieft durch viele verschlungene Strassen zu einem Freunde; unterwegs sind wir so vertieft, dass wir auf nichts achten, das Grüssen vergessen oder den Grüssenden nicht bemerken, und zuletzt treffen wir an der bewussten Stelle ein, ohne dass wir wissen, wie wir, innerlich leidenschaftlich bewegt, oder in Gedanken vertieft, dahin gekommen sind. Die willkührliche Ortsbewegung allein, diese beständig angeübte Abwechselung von Beugungen und Streckungen kann, da sie eine einfache rhythmische Wiederholung zweier Bewegungen ist, einmal eingeleitet, so gut wie eine einzige Bewegung anhaltend neben einem beständigen Gedankenwechsel fortgesetzt werden. Schwieriger ist einzusehen, wie wir uns durch die viel verschlungenen Strassen orientiren und in gleicher Zeit einem innern Gedankenwechsel folgen. Diess lässt sich jedoch sehr gut aus kleinen Absprüngen von dem einen zum andern Thema erklären. Die Gesetze der Ideenassociation kommen hierbei vielfach in Betracht. Sind zwei Reihen von Vorstellungen beide von gleich geringem Interesse, so kann man leicht von der einen zur andern wechselseitig übergehen oder durch eine dritte Vorstellung ganz davon abkommen. Ist aber eine Reihe von Vorstellungen im Sensorium herrschend, z. B. in einem leidenschaftlichen Zustande, so kann zwar jede neue, durch die Sinne angeregte Vorstellung uns auf Augenblicke von der herrschenden Reihe abbringen; aber das Sensorium kehrt nach jeder Unterbrechung doch immer leichter zu dem Grundthema zurück, als es zu entfernten Associationen abgeführt wird.

2) *Association der Bewegungen und Vorstellungen.*

Die Schnelligkeit und Reihenfolge der Bewegungen wird durch die Häufigkeit gefördert. Diess ist, was wir Uebung nennen. Wer nicht geübt ist, kann nicht mit grosser Schnelligkeit in beständigem Wechsel dieselbe Bewegung abbrechen und wieder erneuern, oder zusammengesetzte Bewegungen regelrecht vollführen. Aus der Thatsache der Uebung folgt, dass, je häufiger das Nervenprincip in gewissen Fasern in Schwingung gesetzt wird, um so leichter diese Schwingung oder Strömung wird. Nach einer gewissen Zeit wird zwar auch ein geübter Arm müde, obgleich jetzt die Bewegung des Nervenprincips oft wiederholt worden, weil nämlich durch die Action für den Augenblick eine materielle Veränderung in den Nerven erfolgt. Aber die so angestrengten Glieder ersetzen auch vor den anderen ihre Verluste wieder, und die erholten Theile sind zufolge der stattgefundenen

häufigen Strömungen oder Schwingungen des Nervenprincips in gewissen Fasern nun viel geneigter zu denselben Bewegungen.

Die Gesetze der Association der Bewegungen sind schon so oft erläutert worden, dass sie sehr allgemein auch in den ärztlichen Schriften bekannt sind. Darwin hat sich besonders damit beschäftigt. Darwin, *Zoonomie. Leipz.* 1795. *I. Bd.* Vergl. Reil, *Fieberlehre. IV. p.* 609. Reil, *von der Lebenskraft.* Reil's *Archiv. I.* Brandis *Versuch über die Lebenskraft. Hannover* 1795. Die Association kömmt hier in doppelter Weise in Betracht.

a. Als Association von Bewegungen zu Bewegungen. Man hat früher häufig die Mitbewegungen und die Association der willkührlichen Bewegungen verwechselt. Das Wesentliche der Mitbewegungen, die wir Bd. I. p. 662., Bd. II. p. 85. erläutert haben, liegt darin, dass die willkührliche Intention auf einen Nerven die unwillkührliche auf einen andern hervorruft. Es ist nicht möglich, das eine Auge willkührlich zu erheben, ohne dass das andere derselben Bewegung folgt; es ist nicht möglich, das Auge nach innen zu stellen, ohne dass die Iris enger wird. Der Ungeübte vermag nicht einen einzelnen Finger allein zu strecken. Diese Erscheinungen sind nicht angeübt, sie sind angeboren. Die Mitbewegung ist bei dem Ungeübten am grössten, und der Zweck der Uebung und Erziehung der Muskelbewegungen ist zum Theil, das Nervenprincip auf einzelne Gruppen von Fasern isoliren zu lernen. Das Resultat der Uebung ist daher in Hinsicht der Mitbewegungen Aufhebung der Tendenz zur Mitbewegung. Bei den Associationen der willkührlichen Bewegungen ist es ganz anders. Hier werden durch Uebung Muskeln zur schnellen Folge oder Gleichzeitigkeit der Bewegung ausgebildet, die an sich noch wenig Neigung zu dieser Association haben. Das Resultat der Uebung bei der Association der Bewegungen ist daher gerade das umgekehrte, als bei den Mitbewegungen. Durch Uebung verlieren die Muskeln die angeborne Tendenz zur Mitbewegung; durch Uebung wird die willkührliche Mitbewegung mehrerer Muskeln erleichtert. Darwin und Reil haben diese ganz verschiedenen Zustände des Nervensystems hier und da verwechselt. Das Gesetz, welches Darwin p. 49. ausspricht, ist: alle thierische Bewegungen, welche oft zu gleicher Zeit oder in einer unmittelbaren Folge erregt sind, werden so mit einander verbunden, dass, wenn die eine wieder hervorgebracht wird, die anderen eine Neigung haben, diese zu begleiten oder ihr zu folgen. Im Allgemeinen kann man diess zugeben, obgleich es nicht ganz richtig ausgedrückt ist; aber die von Darwin und Reil zur Erläuterung dieses Gesetzes gewählten Beispiele gehören zum Theil unter das Gesetz der Mitbewegungen. Ueberdiess drückt das Darwin'sche Gesetz die Thatsachen nicht ganz richtig aus. Wäre es wirklich so, so würden wir durch die Erziehung und Uebung ungeschickter. Mitbewegungen würden oft hinderlich werden, die die Uebung uns zum Hinderniss anerzogen, statt dass wir uns durch Uebung der angebornen Tendenz zur Mitbewegung entäussern. Das von Darwin und Reil gewählte Bei-

spiel, dass wir nicht gut mit dem einen Arm die Luft horizontal durchschneiden, mit dem andern eine Kreisbewegung machen können, erläutert die Association der Bewegungen von Uebung nicht; die Tendenz zur symmetrischen Bewegung ist hier wie bei den Augen angeboren. Durch Uebung erwerben wir vielmehr die entgegengesetzte Fähigkeit, diese heterogenen Bewegungen wirklich gleichzeitig auszuführen. Ein anderes von Darwin und Reil gewähltes Beispiel ist geeigneter die Association der willkührlichen Bewegungen zu erläutern. Wer drechseln lerne, bestimme im Anfange jede Richtung des Meissels durch Vorstellung, in der Folge sitze sein Wille auf der Spitze seines Meissels. Hier werden in der That Muskelbewegungen zu schneller, willkührlicher Folge associirt; aber keine ist die Ursache der andern und nur ihre schnelle Verbindung ist erleichtert, und eben so ist es mit aller Association willkührlicher Bewegungen. Haben wir die Bewegungen in gewissen Folgen oft associirt, so wird ihre willkührliche Association immer leichter, so dass der Wille dann die ganze Reihe mit Schnelligkeit hervorruft, ohne dass jedoch ein Glied derselben gegen unsern Willen erscheint. Dass aber, wie Reil sagt, die Intention des Willens auf ein einziges Glied der Reihe zur Hervorrufung aller übrigen genüge, scheint mir durch die Thatsachen nicht erwiesen zu seyn. Es giebt freilich sehr viele, rein angewöhnte Bewegungen, die bei jeder Gelegenheit wiederkehren, wie die ausdruckslosen Bewegungen der Arme bei den Schauspielern und Sängern, das Agiren mit den Händen bei den meisten lebhaften Menschen; aber diese angewöhnten Bewegungen erläutern nicht das Gesetz der Association von Bewegungen zu Bewegungen, sondern das Gesetz der Verkettung von Vorstellungen und Bewegungen.

b. Association von Vorstellungen und Bewegungen. Die Verkettung der Vorstellungen und Bewegungen kann so innig werden, wie die der Vorstellungen unter sich, und hier ist es in der That der Fall, dass, wenn eine Vorstellung und Bewegung oft verbunden gewesen sind, die letztere sich oft unwillkührlich zu der erstern gesellt. Durch diese Verkettung geschieht, dass wir bei einer drohenden Bewegung vor den Augen, selbst beim Herabfahren der Hand eines Andern vor unseren Augen unwillkührlich die Augen schliessen; dass wir uns angewöhnen, gewisse Vorstellungen nicht ohne gewisse Gesticulation auszusprechen, dass wir unwillkührlich nach einem uns entfallenden Körper mit den Händen hinfahren; überhaupt je häufiger Vorstellungen und Bewegungen willkührlich zusammen vorkommen, um so leichter werden letztere bei dem Anlass der ersteren mehr durch Vorstellung, als durch Willen bestimmt oder dem Einflusse des Willens entzogen. Diese Art der Verkettung spielt eine eben so grosse Rolle in den mechanischen Fertigkeiten und Künsten, als die Association der Bewegungen unter einander. Die Association der Bewegungen unter sich lässt sich nicht anders, als durch die Ausbildung einer leichtern Leitung des Gehirns in einer gewissen Direction erklären, und die Verkettung der Vorstellungen und

Bewegungen scheint darauf hinzudeuten, dass bei jeder Vorstellung eine Bewegungstendenz im oder nach dem Apparat ihrer Darstellung durch Bewegung entsteht, eine Tendenz zu Bewegungen, die durch Uebung und Gewöhnung einen solchen Grad der Leichtigkeit erhält, dass die in gewöhnlichen Fällen vorhandene blosse Disposition jedesmal in Action tritt. Das Gähnen kann in dieser Hinsicht als Beispiel dienen. Man gähnt oft nach der blossen Vorstellung des Gähnens, wenn die Disposition zum Gähnen vorhanden ist. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem im Sensorium entstehenden Bilde eines Gähnenden und der auszuführenden unwillkührlichen Bewegung des Gähnens? Wie kömmt es, dass unter so unzähligen Bildern nur dasjenige von den Bewegungen des Gähnens diese hervorruft? Diess beweist offenbar, dass die Vorstellung einer Bewegung allein schon hinreicht, um eine Tendenz in dem Apparate ihrer Ausführung, eine Strömung des Nervenprincips in dieser Direction hervorzubringen. Dergleichen Beispiele sind aber mehrere anzuführen. Ich habe schon bei andern Gelegenheit bemerkt, dass die Zuschauer von Fechtspielen oder Duellen die Streiche mit leisen unwillkührlichen Bewegungen ihres Körpers begleiten. Man kann dieselbe Bemerkung an einer Kegelbahn machen. Daher kömmt es auch, dass wir auf bedeutendem Höhen und bei gefährlichem Stande in uns eine Art Hang empfinden, uns herabzustürzen. Der Trieb zur Nachahmung der Bewegungen gehört auch hieher. Wenn man sich ernst halten will und immerfort an das Lachen denkt, so lacht man endlich; wie die Kinder, die sich ernst ins Gesicht sehen, ob eines zuerst lache. Lange, nachdem etwas Lächerliches stattgefunden, geräth man öfter noch ins Lachen, wenn man Andere verstohlen lachen oder das Lachen unterdrükken sieht. Endlich ist auch das Entstehen der Krämpfe bei Krampfhaften zu erwähnen, wenn sie Krämpfe sehen. In Hospitälern, wo Krampfhafte in einem Saal zusammenliegen, bekommen zuweilen mehrere ihre Krämpfe, wenn einer erst angefangen.

Chevreul hat die Tendenz zu Bewegungen, die durch Vorstellungen von Bewegungen entsteht, aufgeklärt und an einem verwickelten Fall, nämlich an den Schwingungen eines mit der Hand gehaltenen Pendels erläutert. Die Bewegung des Pendels bei scheinbar unbewegtem Arme wird nämlich nach seinen Untersuchungen durch eine unbewusste leichte Muskelbewegung ausgeführt, in die man unwillkührlich geräth, wenn man, indem man das Pendel hält, zugleich darauf sieht, die aber bei verbundenen Augen wegfällt. Die beiden Hauptthatsachen hierbei sind, dass ein in der Hand gehaltenes Pendel durch so leichte Bewegungen, wie sie selbst dem Bewusstseyn entgehen, in Bewegung gerathen kann, und dass das Betrachten der einmal entstandenen Bewegung unwillkührlich eine Reihe unbewusster Bewegungen zu ihrer Verstärkung verursachen kann. Chevreul hat die Thatsache auch zur Erklärung des Gähnens angewandt. Froriep's *Not.* *N.* 831. Behn hat übrigens gezeigt, dass eine der vorzüg-

lichsten Ursachen zur Unruhe des in der Hand gehaltenen Pendels die leisen Bewegungen sind, welche unseren Körpertheilen durch den Puls mitgetheilt werden. Siehe MUELLER's *Archiv* 1835.

Das Factum, dass Bewegungen sich mit Vorstellungen associiren, ist nicht isolirt, selbst wenn man von dem reichsten Felde der Associationen, nämlich der Vorstellungen unter sich, absieht. Vorstellungen wirken nicht bloss auf die Bewegungsapparate, welche mit dem Inhalt der Vorstellungen zusammenhängen, sie wirken auch eben so oft auf die Sinnesorgane, in welchen die Sinneseindrücke dieser Vorstellungen präsentirt werden. Es ist ein grosser Unterschied zwischen der Vorstellung einer ekelhaften Empfindung und der Empfindung des Ekels selbst, und doch kann ein ekelhafter Geschmack bei der blossen Vorstellung desselben bis zur Vomiturition entstehen. Die Qualität der Empfindung ist eine Energie des Empfindungsnerven, welche hier ohne eine äussere Ursache durch die blosse Vorstellung derselben erregt wird. Schon DARWIN hat das Beispiel angeführt, dass der blosse Anblick eines Menschen, der mit scharfen Instrumenten über Porzellan oder Glas fahren wolle, die bekannte Empfindung in den Zähnen erregen könne. Blosse Vorstellungen von gar nicht vorhandenen Gegenständen, welche vorhanden Schauder erregen können, bewirken bei Reizbaren im Uebermaasse das kalte Ueberlaufen. Die Energien der höheren Sinne, des Gesichtssinnes, Lichtempfindung, des Gehörsinnes, Tonempfindung, werden nur in seltenen Fällen im wachenden Zustande, desto häufiger aber im Schlafe und Traum erregt. Denn dass die Traumbilder wirklich oft gesehen und nicht bloss vorgestellt werden, kann ein aufmerksamer Selbstbeobachter an sich erfahren, wenn er sich methodisch angewöhnt, nach dem Traum erwachend, die Augen zu öffnen. Zuweilen sind nämlich die Traumbilder noch in den Augen und verschwinden sichtlich. Diess hat schon SPINOZA gewusst und an sich erfahren, und ich habe es oft an mir beobachtet. Siehe GRUITHUISEN *Beiträge zur Physiognosie u. Eautognosie. München* 1812, und J. MUELLER *über die phantastischen Gesichtserscheinungen. Coblenz* 1826. Ueber diese Gegenstände wird übrigens ausführlicher in dem 6. Buch von den Seelenfunctionen gehandelt.

3) *Instinctartige Bewegungen.*

Die zusammengesetztesten Bewegungen, deren Ursachen am verborgensten sind, sind unstreitig die instinctartigen. Instinctartige Handlungen der Thiere sind alle, welche zwar willkührlich ausgeführt werden, deren letzte Ursache aber nicht der blosse Wille des Thieres ist und deren vernünftiger Zweck dem Thiere nicht bewusst wird, deren verborgene, nach dem letzten Endzweck des Thieres wirkende Triebfeder dem Sensorium des Thieres nur das von dem Willen im Einzelnen auszuführende Thema der willkührlichen Bewegung antreibend vorspiegelt. Nur Gefühle und Triebe zu bestimmten Handlungen sind es, was wir von dieser Gewalt empfinden. Die instinctartigen Triebe zu Handlungen sind bei dem Menschen selten, wie der Trieb zu Saugebewegungen bei dem Säugling. Die Handlungen, welche

zur Ausübung des Geschlechtstriebes führen, werden bei den Thieren sämmtlich instinctartig ausgeführt, beim Menschen gewiss nur zum Theil. Ist auch das Umfassen der Liebe erregenden Formen triebartig eingegeben, so werden doch die ersten Menschenkinder das übrige erst selbst erfahren haben. Bei den Thieren nimmt die Menge der instinctartigen, zweckmässigen Handlungen in dem Grade zu, als sie zur Erzielung des Endzwecks der Gattung und Art durch ihre Seelenfunctionen nicht befähigt sind. Es kann hier nicht die Aufgabe seyn, die Menge dieser Thatsachen, welche sich auf die Wanderungen, den Nestbau, den Bau der Wohnungen, Gespinnste, die Zucht der Jungen beziehen, aufzuzählen.

Die Ursache des Instinctes scheint dieselbe, welche die ganze Entstehung des Thieres bedingt und seine selbstständige Organisation nach ewigem Gesetze vollbringt. Die Begriffe, die wir von der Natur eines organischen Geschöpfes uns bilden, sind ruhig, schaffen nichts und sind unfruchtbar. Die organisirende Kraft, die viel sicherer nach vernünftigen Ideen und nach göttlichem Plane wirkt, organisirt ihre Producte selbst und erscheint in jedem Producte wieder. Vor ihr sind alle Räthsel der Physik gelöst, vor jener Kraft, welche das Auge des Menschen und Insectes schafft. Diese Kraft, die Endursache eines Geschöpfes, ist es auch, welche die Verluste wieder ersetzt und die Heilung nach einer Krankheit möglich macht, und welche, uranfänglich in dem befruchteten Keimstoff des neuen Individuums enthalten, erst das Organ erschafft, in welchem später unfruchtbare Abbilder der Dinge, die Vorstellungen und Begriffe entstehen. Da diese Kraft vor der Entstehung aller Organe aus der structurlosen Masse des Keimes alle schafft, so ist sie auch an kein Organ gebunden; sie äussert sich in der Ernährung noch bei dem hirnlosen Fötus; sie verändert das Nervensystem, wie alle übrigen Organe bei der sich verwandelnden Insectenlarve, so dass mehrere Knoten des Nervenstranges verschwinden und andere sich vereinigen; sie bewirkt, dass bei der Umwandlung des Frosches das Rückenmark sich verkürzt, in dem Maass die Organisation des Schwanzes eingeht und die Nerven der Extremitäten entstehen. Aus den instinctartigen Handlungen der Thiere sehen wir ferner, dass die nach ewigem Gesetz für einen bestimmten Zweck wirkende Kraft, dieses nicht in unser Bewusstseyn fallende göttliche Denken (um im Sinne Spinoza's zu reden) auch über die Entstehung und Organisation der organischen Wesen hinaus thätig ist und auf die willkührlichen Handlungen Einfluss hat. Was in der instinctartigen Bewegung erzielt wird, ist auch durchaus zweckmässig, für die Existenz der Gattung und Art so nothwendig, als die Organisation selbst; aber das Erzielte liegt hier ausser dem Organismus, bei der Organisation ist es ein Theil desselben, und jenes Vorstellen des thierischen Wesens, das wir das unfruchtbare nannten, wird selbst von jener Kraft bestimmt, etwas Besonderes vorzustellen und zu erzielen. Die letzte Ursache des Instinctes liegt daher wohl auch nicht in einem besondern Organe, sondern ist eins

mit der nach nothwendigem Gesetz und nach vernünftigem Princip wirkenden Kraft der Organisation. Die Wirkungen dieser Kraft werden indess zuerst im Sensorium offenbar. Cuvier drückt sich darüber sehr verständlich aus. Er sagt: dass die Thiere bei den instinctartigen Handlungen von einer angeborenen Idee, von einem Traume verfolgt werden. Die Verwirklichung der im Sensorium erscheinenden Vorstellungen, Bilder, Triebe ist übrigens durch die Organisation der Thiere selbst ausnehmend erleichtert. Da Beides, das Innere und Aeussere, von derselben Endursache abhängt; so ist auch die Gestalt des Thieres seinen Trieben durchaus entsprechend; es will nichts, als was es durch seine Organe ausführen kann, und es wird durch seine Organe nichts zu thun veranlasst, zu welchem nicht der Trieb vorhanden ist. Der Maulwurf, seinen inneren Trieben nach zu unterirdischem Leben bestimmt, hat in seinen Organen keine Aufforderung, von dieser inneren Bestimmung abzugehen. Wenn er gleich sieht und sein Auge nicht von der Haut bedeckt ist, vielmehr Augenlieder hat, so ist doch sein Gesicht undeutlich, sowohl wegen der Kleinheit des Auges, als der Umstellung desselben mit dichten Haaren. Seine Vorderfüsse sind ganz zum Graben organisirt, so, als wenn er damit nicht gehen, sondern nur wühlen sollte; und in der That ist die Bildung der Hand und ihre Stellung zum Vorderarme so, dass er kaum gehen kann, ohne von selbst schon zu wühlen. Die Faulthiere, welche mit eingezogenen Zehen mehr mit dem äussern Fussrande auftreten, sind auf ebener Erde äusserst langsam und unbehülflich, und haben daher die unrichtige Vorstellung erregt, als habe die Natur sie vor allen Thieren vernachlässigt; diese Geschöpfe sind dagegen in ihrer Art so vollkommen, wie alle übrigen, ihre Extremitäten sind zum Klettern, zum Leben auf Bäumen eingerichtet, wo sie auch die Nacht zubringen, und hier sind sie, wenn auch langsam, wie einige andere Kletterer, z. B. das Chamäleon, doch sehr geschickt und kräftig. Die Spinne ist in der Insertion der Beine und in der Organisation der letzteren so eingerichtet, dass ihre Bewegung auf ebenem Boden auch ungeschickt und krabbelnd ist. Ihre Beine sind bestimmt auf eine Linie zu wirken, d. h. an einem Faden zu klettern. Sie führt das Material für die auszuspannenden Fäden mit sich, und ihre inneren instinctartigen Triebe spiegeln ihr traumartig das Thema zum Handeln, zum Netzbau vor. Der Gepard, Felis jubata, kann zum Jagen gebraucht werden, gegen das Naturel der Katzen, welche sonst selbst das Geschenkte erst wie Geraubtes wegnehmen und auf ihre Beute im Hinterhalt lauern. Der Gepard ist aber auch vor allen anderen Thieren des Katzengeschlechtes durch seine geraden, nicht zurückziehbaren und vorstreckbaren Nägel ausgezeichnet.

Es ist bewunderungswürdig, wie der Instinct den Thieren Fähigkeiten, Fertigkeiten und Anschauungen mittheilt, die wir auf dem mühsamen Wege der Erfahrung und Erziehung uns erwerben müssen. Wenn wir anfangen zu sehen, haben wir noch nicht das Vermögen die Bilder der Gegenstände in unserm Auge

in Beziehung auf Ferne und Nähe der Gegenstände zu beurtheilen. Da alle Gegenstände des Sehfeldes so gut wie einer Malerei beim Sehen in einer Fläche concipirt werden, so bedarf es einer langen Erfahrung und der Mitwirkung des Tastens und der Bewegungen, um die Art der bildlichen Darstellung eines Gegenstandes im Sehfelde mit Vorstellungen von seiner Entfernung, Grösse, Form zu begleiten. Das Thier wird so geboren, als hätte es diese Erziehung schon durchgemacht. Das Kalb geht bald nach der Geburt nach der Zitze der Mutter hin. Wir lernen gehen durch eine mühsame Uebung, wobei die Gesetze des Gleichgewichts, der Schwerkraft u. s. w. jeden Augenblick in Betracht kommen; wir lernen es erst, nachdem wir das Maass der Contraction unserer Muskeln für jedes Thema der Bewegung durch Erfahrung und Irren kennen gelernt haben. Die neugeborenen Thiere, wenigstens die Einhufer und Wiederkäuer, haben diese Kenntnisse schon. Sie stellen sich bald auf, gehen auf die Mutter und die Zitzen zu. Alles diess kann nur durch Mitwirkung der instinctartigen Kraft geschehen, vor welcher alle Probleme der Physik gelöst sind. Im Sensorium des neugebornen Thieres muss eine Kraft wirken, welche die Hebel der ortsbewegenden Glieder in voller Zweckmässigkeit wirken lässt. Von den instinctartigen Handlungen muss man gewisse andere trennen, welche manche Thiere in Schlafesruhe noch mit vieler Kunst ausüben, wenn sie dazu die Fähigkeiten allmählig erworben haben. Viele Vögel schlafen auf einem Beine stehend. Sie halten mit der grössten Sicherheit das Gleichgewicht, und die Kraft zu diesen Handlungen ruht nicht, wenn auch die sensoriellen Wirkungen des Sensoriums ganz ausruhen. Der Nachtwandler befindet sich in einem ähnlichen Fall. Es ist nicht der Instinct, der ihn leitet, sondern die während des Lebens gewonnene Erfahrung, sicher zu gehen, über die er noch während des Schlafes gebietet. Er benutzt alle während seines Lebens durch Erziehung und Erfahrung gewonnenen Kenntnisse in Hinsicht der Erhaltung des Gleichgewichtes; seine Seelenaction allein und nicht der Instinct ist es, die ihn vor dem Fall sichert; aber sein Sensorium ist nur in einer Direction thätig, in allen übrigen verschlossen; und dass er in dieser Beschränkung die Gefahr nicht erkennt, macht ihn sicher und führt ihn am Abgrunde vorbei. Diese Erscheinungen haben in der That für die Erklärung nicht so viel Schwierigkeit, als es scheint. Dass Jemand auf einer mässig schiefen Fläche mit Sicherheit geht, hängt ganz davon ab, dass er weiss, dass die Fläche nicht hoch von der Erde entfernt ist. Dieselbe schiefe Ebene, auf der man nahe der Erdoberfläche leicht einhergehen würde, erscheint uns auf einer jähen Anhöhe gefahrvoll und schwierig zu ersteigen. Wer die Gefahr im letztern Fall nicht einsieht, wird auch eben so sicher, als bei geringer Entfernung von der Erdoberfläche darauf hergehen.

Da es bei den Thieren offenbar instinctartige, angeborene Gefühle und Anschauungen giebt, die sich sogleich nach der Geburt oder später äussern, so entsteht die Frage, ob nicht auch der Mensch angeborene Ideen habe, die für ihn auf höherer

Stufe dieselbe bindende Gewalt haben, wie die instinctartigen Triebe und Gefühle der Thiere auf diese. Wir werden auf diese Frage im 6. Buch von den Seelenfunctionen zurückkommen. Einige haben Hoffnungen daran gesetzt, dass das instinctmässige, vernünftige Wirken der organisirenden Kraft in gewissen Zuständen dem Bewusstseyn etwas mittheilen könnte, was auf dem Wege der Seelenthätigkeiten nicht zu erkennen wäre, und haben das instinctmässige Walten für den Menschen überschätzt. Hierzu ist kein Grund vorhanden, und mir ist nicht bekannt, dass das ausser dem Bewusstseyn still wirkende Naturwalten und Schaffen im Menschen nach freilich vernünftigem und höherem Gesetz dem Bewusstseyn etwas vertraut hätte, oder dass das göttliche Denken, welches schaffend ist, sich in unsere vorstellungsmässigen Abbilder der Gegenstände eingemengt hätte. Was davon verlautet ist, aus sogenannten magnetischen Zuständen, verdient den Glauben nicht, den ihm leichtgläubige Aerzte geschenkt haben, und hat sich zu oft als Betrug oder Thorheit erwiesen. Die Aufschlüsse, die auf diese Art an uns gekommen, sind aber nichts anders, als oft noch gar sehr verwirrte, vorstellungsmässige Bilder gewesen, deren Inhalt der Capacität des Vorstellenden und der Gläubigen angemessen war.

4) *Coordinirte Bewegungen.*

So abhängig die Ortsbewegungen von dem Willen sind, so ist doch die zweckmässige Verbindung der einzelnen Bewegungen zur Ortsveränderung, wie es scheint, durch innere Einrichtungen in den Centralorganen erleichtert; und es scheint zwischen gewissen Theilen der Centralorgane des Nervensystems und den Muskelgruppen und ihren nervösen Leitern eine prästabilirte Harmonie stattzufinden. Man kömmt auf diese Vorstellung sowohl bei Versuchen über die Kräfte des kleinen Gehirnes, als bei Versuchen über die des Rückenmarkes. Man hat schon gesehen, dass enthauptete Vögel noch allerhand Versuche zur Ortsbewegung machten. Dasselbe hat man bei Fröschen gesehen. Dergleichen Bewegungen haben nicht das Ansehen von willkührlichen Bewegungen, zu welchen die Mitwirkung des Gehirns nothwendig ist; aber es herrscht eine gewisse Uebereinstimmung in den einzelnen Acten solcher tumultuarischen Bewegungen, welche enthauptete Gänse machen. Sie schlagen mit den Flügeln; hierzu ist aber die gleichzeitige und übereinstimmende Wirkung vieler Nervenfasern nöthig, und es scheint also, dass die coordinirte Wirkung derselben durch irgend eine organische Einrichtung in den Centraltheilen erleichtert ist. Blosse Zuckungen aller vom Rückenmark abhängigen Muskeln sind es nicht. Denn wenn alle Nervenfasern des verletzten Rückenmarks in Irritation gerathen, so müssen auch alle Muskeln des Rumpfes gleich angezogen werden; daraus können aber keine Flügelschläge erfolgen; man sieht wenigstens nicht ein, warum der enthauptete Vogel nicht eben so gut die Flügel dicht und krampfhaft an den Leib anlegen sollte. Es gehört hieher auch das Winden enthaupteter Aale und Schlagen des Schwanzes bei enthaupteten anderen Fischen. Bei den wirbellosen Thieren geschehen die Ortsbewegungen nach der Ent-

hauptung zuweilen sogar in ganz gewöhnlicher Folge. Ein Carabus granulatus lief in Treviranus Versuchen nach der Enthauptung nach wie vor herum; eine Bremse, auf den Rücken gelegt, strengte sich an, auf die Beine zu kommen. Treviranus führt auch die Beobachtung von Walckenaer über Cerceris ornata an, welche einer in Löchern lebenden Biene nachstellt. Walckenaer stiess einer solchen Wespe im Augenblicke, wo sie in das Loch der Biene eindringen wollte, den Kopf ab; sie setzte ihre Bewegungen fort und suchte umgekehrt dahin zurückzukehren und einzudringen. Treviranus *Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens.* 2. 194. Getheilte Blutegel setzen die Ortsbewegungen in der Art, wie früher fort. Es erhellt hieraus, dass gruppenweise Bewegungen der Muskeln bei den Wirbellosen und Wirbelthieren nach der Enthauptung möglich sind. Bei den Wirbellosen scheint freilich hierbei selbst der Willenseinfluss noch stattzufinden.

Flourens Versuche über das kleine Gehirn zeigen ferner, dass nicht bloss im Rückenmark eine prästabilirte Harmonie gewisser gruppenweiser Bewegungen residirt, dass vorzüglich das kleine Gehirn die gruppenweise Wirkung der Muskeln für die Ortsbewegung beherrscht. Nahm derselbe bei Vögeln Schnitt für Schnitt das kleine Gehirn weg, so trat nicht bloss Schwäche der Muskelbewegungen, sondern auch ein Mangel an Uebereinstimmung derselben ein. Schon nach der Wegnahme der oberflächlichen Lagen wurden die Thiere unruhig; ohne Convulsionen zu erleiden, machten sie heftige und ungeregelte Bewegungen; dabei waren ihre Sinnesfunctionen ungestört. Nach Wegnahme der tieferen Lagen des kleinen Gehirns verloren die Thiere die Fähigkeit zum Springen, Fliegen, Gehen, Stehen, zur Erhaltung des Gleichgewichtes. Wurde ein Vogel in diesem Zustande auf den Rücken gelegt, so konnte er sich nicht umkehren; er flatterte beständig und war nicht betäubt; den nach ihm geführten Streich suchte er zu vermeiden. Flourens schloss daraus, dass Wille, Empfindung, Besinnung geblieben sey, dass aber die Fähigkeit, die Muskeln gruppenweise zu Ortsbewegungen zu verbinden, verloren gegangen sey. Andererseits zeigen seine Versuche über die Verletzungen der grossen Hemisphären, dass das coordinirende Princip in ihnen nicht residirt. Denn die Thiere werden nach der Wegnahme eines grossen Theils der Hemisphären nur betäubt und kraftlos, aber fähig zu allen willkührlichen und gruppenweisen Bewegungen; wie denn die Vögel in diesem Zustande, in die Luft geworfen, noch mit Flügelschlag auf die Luft wirken und zu fliegen vermögen. Indess zeigt selbst das Flattern nach der Wegnahme des kleinen Gehirns noch eine Spur von coordinirter Bewegung an, die, wie wir nach der Enthauptung der Gänse sehen, von dem Rückenmark allein abhängig seyn kann. Diese Coordination der Bewegungen muss den Thieren bei dem ersten Gebrauch ihrer Extremitäten, wobei sie sich so geschickt zeigen, sehr zu statten kommen, und überhaupt gehen die coordinirten Bewegungen als Elemente in die Zusammensetzung der instinctartigen Bewegungen vielfach ein. Im Säugling ist ein in-

nerer Stimulus im Gehirn zu coordinirten Saugbewegungen vorhanden, und selbst der Kopf eines enthaupteten Kätzchens zeigt, wie MAYER beobachtete, nach an dem in den Mund gehaltenem Finger noch Saugbewegungen.

III. Capitel. Von den Ortsbewegungen.

Es giebt viele Thiere, die mit einem Theile ihres Körpers festsitzend oder liegend der Ortsbewegung grösstentheils ermangeln und nur eine relative Ortsbewegung einzelner Theile ihres Körpers haben.

Im ersten Falle befinden sich die zusammengesetzten Eingeweidewürmer, wie Coenurus cerebralis, dessen Würmchen durch eine gemeinsame Blase verbunden, auf dieser sich nur erheben und sich zurückziehen können. Ferner gehören dahin die zusammengesetzten Polypen, deren Ortsbewegung sich auf Hervorstrecken und Zurückziehen des Polypenkopfes und seiner Arme in den Kelch des Polypen beschränkt. Auch die Seefedern, von denen man lange glaubte, dass sie sich frei im Meere bewegen, stecken im Boden gleich den Veretillen und nur ihre einzelnen Polypen können sich entwickeln und zurückziehen. Einflüsse, welche auf einzelne Polypen des Stammes wirken, veranlassen auch nur das Zurückziehen der einzelnen Polypen. RAPP *über die Polypen. S.* 8. Doch hat RAPP auch am Stamme der Veretillen träge Krümmungen beobachtet. Ein Veretillum, das RAPP in den Canal von Cette warf, pflanzte sich in den Boden ein. Den Bau und die Lebensverhältnisse des Stammes kennt man noch nicht von mehreren Polypen gleich gut. Der Stamm der Sertularien enthält einen Canal, in welchem nach den Beobachtungen von MEYEN und LISTER abwechselnde, aufwärts und wieder abwärts gehende Strömungen des Saftes stattfinden. Nach LISTER hängt der Canal des Stengels mit dem Magen zusammen und ebenso die Strömungen beider, was MEYEN läugnet. LISTER *phil. Trans.* 1835. 2. In der Achse des dicken Polypenstammes von Veretillum verlaufen nach RAPP 4 gerade Canäle, die mit queren Muskelfasern umgeben sind; sie sind mit Seewasser gefüllt. Die Mundhöhle jedes einzelnen Polypen führt in einen braunen engen Canal, der sich in die durchsichtige, über einen Zoll lange Röhre des Polypen öffnet. Diese ist der Magen; sie setzt sich im Hauptstamme in einer Zelle fort, welche mit den in der Achse verlaufenden Canälen zusammenhängt. Die 4 Canäle des Stammes öffnen sich am untern Ende mit 4 Oeffnungen; überdiess hängen die Canäle durch kleine Löcher mit der schwammigen Substanz des Hauptstammes zusammen. *Nov. Act. Nat. Cur. XIV.* 2. 650. In welchem innern Zusammenhange die selbstständigen Bewegungen der einzelnen Polypen zu den trägen Krümmungen des Stammes von Veretillum stehen, ist noch nicht recht klar geworden, wie denn überhaupt die Aufklärung des physiologischen Zusammenhanges zwischen den Polypen und ihrem Stamm eine der verwickeltsten Aufgaben ist. Zufolge

Ehrenberg's Untersuchungen, der hier so viel beobachtet hat, ist „der Corallenbau weder ein blosser Bau vieler willkührlich vereinter Thiere, noch ein einziges vielköpfiges oder einfach gespaltenes Thier, noch ein Pflanzenstamm mit Thierblüthen, sondern ein Familienkörper, ein lebender Stammbaum, dessen einzelne auf den Urahnen fort und fort entwickelte Thiere in sich abgeschlossen und der vollen Selbstständigkeit fähig sind, ohne sie selbst herbeiführen zu können." Ehrenberg, *die Corallenthiere des rothen Meeres. Berlin* 1834. *p.* 27.

Die Armpolypen sind theils der freien Ortsbewegung fähig, wie die Hydren, theils festsitzend, wie die Corynen. Unter den Annularien giebt es einzelne, welche einer freien Ortsbewegung ermangeln, wie die in Köchern lebenden Serpulen. Unter den Mollusken leben die Tubulibranchien, wie die Vermetus, Siliquaria, in festsitzenden Röhren. Auch die Ostreaceen unter den zweischaligen Muscheln, theils mit ihrer Schale an Felsen festsitzend, theils frei, verändern in beiden Fällen kaum den Ort, und ihre Bewegung beschränkt sich auf das Schliessen der Schale, die durch das elastische Schlossband von selbst geöffnet wird. Andere dieser Familie, wie die Pinnen, heften sich mit dem aus dem Fussrudiment kommenden Byssus an feste Körper und bedienen sich des Byssus, wie Cuvier sich ausdrückt, zum Anker. Auch die Mytilaceen bedienen sich ihres längern Fusses mehr zum Anheften des Byssus, als zum Kriechen. Andere Muscheln bedienen sich des Fusses zum Kriechen, wie die Anodonten, Unionen u. A. Die Ascidien sind an Felsen geheftet und ermangeln aller Ortsbewegung. Ihre willkührlichen Bewegungen bestehen nur im Ausspritzen des Wassers aus der dazu bestimmten Mündung des Mantels. Unter den zusammengesetzten Ascidien sitzen die Botryllen auf Körpern auf, zu sternförmigen Massen vereinigt. Cuvier bemerkt, dass, wenn man eine Mündung eines einzelnen Thiers reize, sich nur ein Thier zusammenziehe, wenn man das Centrum reize, alle sich contrahiren. In derselben Abtheilung bilden die Pyrosomen zusammengesetzte Mollusken, die zu einem hohlen, an einem Ende offenen Cylinder vereinigt sind. Sie sind frei im Meere, und man sagt, dass diese Cylinder durch die gemeinschaftlichen Zusammenziehungen aller einzelnen Thierchen umherschwimmen. Cuv. *regne animal.* Das Nähere einer physiologisch so merkwürdigen Erscheinung ist unbekannt. Das Erlöschen der Phosphoresenz von einem einzigen verletzten Theile des Cylinders aus spricht allerdings auch für eine gemeinschaftliche Action dieser Wesen. Die zusammengesetzten Polypen bieten uns von einem so merkwürdigen Verhältniss kein Beispiel dar. Mehrere Thiere sehr verschiedener Classen sind während eines Theils ihres Lebens frei, während des andern festgeheftet. Einige sind in der ersten Zeit festgeheftet, später frei; dahin gehören nach Ehrenberg's Beobachtungen die Vorticellen. Sie sitzen zu Vielen durch Stiele an gemeinsamer kriechender Wurzel. Später theilt sich der Körper des Thierchens in 2, welche sich von dem Stiele trennen, der nun die frühere Beweglichkeit, sich zusammenzuziehen und auszudehnen, verloren hat. Vom

Stiele getrennt schwimmt nun jedes der Thierchen frei umher. Andere Thiere sind in der Jugend frei und später angeheftet, und ohne Ortsbewegung. Von diesem merkwürdigen Verhältnisse geben uns die schönen Beobachtungen von v. Nordmann über die Lerneaceen, von Dugès über die Hydrachnen und von Burmeister über die Cirripeden Beispiele. Die Lernäen sind in der Jugend crustaceenartig gebildet und frei, später verändern die Weibchen ihre Gestalt so sehr, dass man sie für Eingeweidewürmer gehalten hat. In diesem Zustande sitzen sie als Parasiten an anderen Thieren (Fischen) fest. Die Männchen sitzen an dem Hinterleibe der Weibchen angeklammert. v. Nordmann *micrographische Beiträge.*

Die Hydrachnen sind als Larven sechsfüssig; sie befestigen sich später als Parasiten auf Wasserinsecten. Nun verlängert sich der Hintertheil ausserordentlich und das Thier wird zu einer langgezogenen Ellipse; dann ist das Thier Nymphe. Unter der Haut der Nymphe bilden sich die Glieder und Augen des vollkommenen Thiers. Das Thier tritt hervor und schwimmt, ist aber noch nicht vollkommen; nach einigen Wochen heftet es sich mit dem Saugrüssel in ein Blatt von Potamogeton und wird unbeweglich; die Beine verschwinden abermals und nun entwickeln sich erst die Beine des vollkommenen Thiers. *Ann. d. sc. nat.* 1834. Das ausgeschlüpfte Junge der Cirripeden gleicht den Jungen der Lernäen und schwimmt umher. Der Körper besitzt schon 3 Paar Bauchfüsse; ältere Junge haben schon eine lederartige Schale. Durch einen fleischartigen Fortsatz, der zwischen den Klappen hervortritt, wird das Junge nun an den Tang befestigt. In diesem Zustande besitzt das Junge selbst ein Auge; erst in der folgenden Periode erhält es die doppelte Zahl der Füsse, und beim Häuten gehen Auge und die früheren Fühler verloren. Burmeister, *Beiträge zur Naturgeschichte der Rankenfüsser. Berlin* 1834. Die Bewegungsorgane der frei den Ort verändernden Thiere sind theils Wimpern, Borsten, Blättchen, Flossen, theils articulirte Glieder, theils geschieht die Bewegung durch Austreibung von Flüssigkeiten, die vorher aufgenommen worden, theils durch wellenförmige Bewegungen der Körpertheile, die bald fixirt, bald nachgezogen, bald vorgestreckt werden, theils durch abwechselnde Ausdehnung und Contraction der ganzen Masse des Körpers.

Ueber die Bewegungsorgane der Infusorien hat Ehrenberg ausführliche Aufschlüsse gegeben. *Zur Erkenntniss der Organisation in der Richtung des kleinsten Raums. Berlin* 1832. *p.* 28. Unter die einfacheren Bewegungsorgane gehören theils veränderliche, an vielen Stellen des Körpers hervorzutreibende Fortsätze, wie in der Gattung Amoeba, dem ehemaligen Proteus; theils Borsten, wie auf dem Rücken der Chaetonotus, theils Wimpern, die bei den Magenthierchen oft über den ganzen Körper verbreitet sind, theils Haken. Die zusammengesetzten Bewegungsorgane sind die Räderorgane in der Classe der Räderthiere und bei einzelnen Magenthierchen. Von diesen Organen hat Ehrenberg mehrere Varietäten beschrieben. Was derselbe über ihren Bau entdeckt hat, ist schon oben p. 13. berührt worden. Die Vibrationen

dieser Organe dienen nicht bloss zur Erzeugung von Strudeln im Wasser, wodurch Nahrungsstoffe zugeführt werden, sondern auch zum Schwimmen. Die Räderthiere können übrigens auch kriechen bei abwechselndem Fixiren des vordern und hintern Körperendes, indem der letztere bald gegen den erstern angezogen, bald vom hintern Ende aus der Körper gestreckt wird.

Die Acalephen von Scheiben- oder Glockengestalt verändern den Ort durch abwechselnde Zusammenziehungen und Ausdehnungen des Körpers, wodurch das in dem Raum der Glocke enthaltene Wasser fortgetrieben wird. Die Beroen bewegen sich zum Theil durch Schwingung der Blättchen, womit die 8 Rippen ihres kugelförmigen Körpers besetzt sind. Die Röhrenquallen haben zu Schwimmorganen zum Theil Schwimmhöhlen, die wie die Glocke der Medusen wirken, wie die Diphyiden. Die Blasenquallen haben an ihrem weichen Körper eine mit Luft angefüllte Schwimmblase, vermittelst welcher sie sich an der Oberfläche des Meeres erhalten können. Bei den Physalien ist neben der grössern Schwimmblase noch ein segelartig wirkender Theil, indem über die Schwimmblase ein häutiger Kamm verläuft, der mit Luft gefüllt, aber auch davon entleert werden kann. Die Schwimmblase hat an beiden Enden eine Oeffnung, die durch einen Sphincter verschlossen wird. Eschscholtz *Syst, d. Acalephen. Berl.*

Unter den Echinodermen können sich die Holothurien durch Austreiben des in das Athemorgan aufgenommenen Wassers fortbewegen, ihr ganzer Körper ist durch starke Längsmuskeln der Verkürzung fähig. Aber diese Thiere besitzen, wie ihre Classenverwandten, die Seesterne und Seeigel, noch das besondere, von Tiedemann entdeckte System der Wasserröhren, die mit einem contractilen Behälter einerseits, und den hohlen, durch Anfüllung vorstreckbaren und ihre Contractilität zurückziehbaren Füsschen in Verbindung stehen. Tiedemann, *Anatomie der Röhrenholothurie etc.*

Die freien Würmer bewegen sich im Wasser schwimmend durch wellenförmiges Schlagen des Körpers, die Salpen unter den Mollusken, indem sie durch die hintere, mit einer Klappe versehene Oeffnung Wasser eingehen und durch die Oeffnung beiseits vom Munde wieder austreten lassen. Das Kriechen der Würmer und Raupen geschieht, indem sie aliquote Theile des Körpers befestigen und die anderen nachziehen, dann wieder das Ende der nachgezogenen aufsetzen und die vor ihnen liegenden Theile aus der Biegung vorwärtsstrecken. Zur Befestigung dienen theils die Mundtheile, theils Fussstummeln, wie bei den Raupen, theils Saugnäpfe, wie bei den Saugwürmern, Egeln u. a. Statt der Streckungen und Beugungen von Bogen geschieht das Kriechen bei anderen Würmern und bei Mollusken allgemein durch abwechselnde Zusammenziehungen und Ausdehnungen des Körpers oder Fusses. Die Regenwürmer kriechen nicht wie die Egel, indem sie Bogen ihres Körpers strecken und von Neuem bilden; sondern indem Theile ihres geringelten Körpers sich aufstemmen, die folgenden einfach angezogen werden, wodurch dieser Theil des Körpers breiter und kürzer wird. Durch die Fixation des hintern Endes des nachgezogenen Theils kann dieser nun sich quer con-

trahiren und sich demzufolge nach vorwärts ausdehnen. Bei den Egeln kömmt auch diese Form der Bewegung vor. Bei den Gasteropoden unter den Mollusken sind die Momente dieser Art der Bewegung so zahlreich, dass man, wenn eine Schnecke auf einer Glastafel kriecht, nur den Ausdruck sehr kleiner, hinter einander folgender Wellen sieht, während die Schnecke ununterbrochen weiter rückt. Ein solches Unduliren sieht man auch an dem Fusse der Lymnaeen, wenn sie auf dem Rücken liegend gleichsam an der Oberfläche des Wassers hängen. Wie bei einer so glatten Oberfläche, als der Fuss der Schnecke ist, doch aliquote Theile des Fusses sich fixiren können, ist schwer zu begreifen.

Uebrigens besteht das Wesentliche der Ortsbewegung bei fast allen Thieren und bei den verschiedensten Formen der Ortsveränderung durch Schwimmen, Kriechen, Gehen, Fliegen, darin, dass Theile ihres Körpers Bogen bilden, deren Schenkel gegen einen fixen Punct gestreckt werden. Bald werden diese Bogen durch den wurmförmigen Körper selbst gebildet, wie beim Kriechen und Schwimmen, bald wird das Strecken und Beugen durch Nähern und Entfernen zweier Schenkel eines Winkels ersetzt, wo denn auch wieder der eine dieser Schenkel an seinem Ende durch den Widerstand, den er an festen oder flüssigen Körpern findet, den fixen Punct bildet, von welchem aus durch Streckung der Schenkel des Winkels oder Oeffnen desselben die übrigen Theile vorwärts gebracht werden. Hierauf reducirt sich die Bewegung der Thiere mit Gliedern, seyen es Flossen, oder Flügel, oder Beine, im Wasser, in der Luft, auf der Erde. Denn auch die Luft und das Wasser leisten Widerstand gegen Körper, welche sie aus der Lage drängen, und die Kraft, welche sie zu verdrängen strebt, wirkt in dem Maass, als sie Widerstand leisten, auf den Körper des Thiers zurück, und ertheilt ihm eine Projection in bestimmter Richtung. Die Gesetze des Hebels kommen hierbei in Betracht. So mannigfaltig die Hebel auch an den Thieren mit Gliedern angebracht sind, so sind sie doch mehrentheils mit Verlust von Kraft angewandt, indem die Muskeln in vielen, ja den meisten Fällen in sehr schiefer Richtung auf die Hebel wirken, und überdiess ihre Insertion so häufig nahe dem Stützpuncte und fern von dem Ende des Hebels angebracht ist. Höhere Rücksichten haben diess erfordert, nicht die Schönheit der Formen allein. Hätte die Natur an jedem Gliede die Gesetze der besten Hebeleinrichtung befolgt, so wäre eine Complication, eine Eckigkeit und Unbehülflichkeit der Form des Körpers entstanden, dass durch das Wachsthum der Hindernisse für ein harmonisches Zusammenwirken der Aufwand der Kraft bei aller scheinbaren Ersparniss doch am Ende hätte grösser seyn müssen, als er jetzt ist. Ueber die Ortsbewegungen siehe Borelli *de motu animalium. Lugd. Batav.* 1685. 4. Barthez *neue Mechanik der willkührlichen Bewegungen des Menschen und der Thiere. Halle* 1800. 8.

Schwimmen. (Borelli a. a. O. Muncke in Gehler's *physikal. Wörterb.*)

Die Ortsbewegungen der Thiere im Wasser und in der Luft

haben mit einander gemein, dass das Widerstand leistende Medium dasselbe ist, als in welchem sich das Thier bewegt. Beim Gehen und Kriechen, geschehe es im Wasser oder an der Luft, wird das Wasser und die Luft durchschnitten, aber ein fester Körper, die Erde, leistet die Stütze für die Projection des Schwerpunctes; beim Schwimmen und Fliegen stützen das Wasser und die Luft, die doch selbst von dem schwimmenden und fliegenden Körper durchschnitten werden. In beiden Fällen ist das der Bewegung zur Stütze dienenende Medium nachgiebig, während es beim Gehen und Sprung fest ist; die Bewegung ist um so grösser, je grösser die Kraft ist, womit das Bewegungsorgan gegen das Wasser oder die Luft drückt, im Verhältniss der zu bewegenden Masse und des Widerstandes, welche Wasser oder Luft dem vordringenden Körper darbieten. Unter Widerstand versteht man aber hierbei den Verlust von Bewegungskraft, den ein im flüssigen Medium sich bewegender Körper dadurch erleidet, dass er Theile der Flüssigkeit vor sich her treibt. Er verliert nämlich so viel an eigener Bewegung, als er anderen mittheilt.

Bei den Schwimmern ist das Hauptmoment der Bewegung, dass ein gebildeter Bogen, indem er sich streckt, das Wasser drückt. Denkt man sich, dass eine biegsame und elastische Ruthe, von überall gleicher Masse, im Wasser liegend in der Mitte gebogen und dann gestreckt werde, so schlagen ihre beiden Schenkel das Wasser in schiefer Richtung gleichstark und die gestreckte Ruthe wird in der Richtung ihrer Länge im Wasser nicht vorwärts geworfen. Ebenso ist es, wenn zwei durch ein Charnier verbundene Schenkel, von gleicher Masse, sich gegen einander neigen und dann strecken. Bei gleicher Masse an beiden Schenkeln und gleichem Widerstand wird die in der Mitte wirkende Kraft der Beugung beide Schenkel gleichstark gegen einander beugen und die an derselben Stelle wirkende, streckende Gewalt beide Schenkel gleichstark von einander entfernen. Liegt aber an einem der Schenkel die Hauptmasse des Körpers, so wird die an der Beugungsstelle wirkende Gewalt des auf dem Wasser schwimmenden Körpers eher den leichten Schenkel gegen die Masse des andern Schenkels, als diese gegen jenen bewegen. Während die Hauptmasse des einen Schenkels ihre Lage im Wasser behauptet, wird der andere Schenkel sowohl bei der Beugung, als Streckung seine Lage zur grössern Masse verändern. In diesem Fall befindet sich sowohl das mit dem Steuerruder versehene Schiff, als der Fisch. An beiden im Wasser liegend bewegt sich durch eine Kraft, die die Lage des Steuerruders oder des Schwanzes zur Hauptmasse verändert, zunächst nur der leichtere Theil gegen den schwerern und von diesem ab. Indem nun aber das gegen das Schiff gewendete Steuerruder in gerade Richtung gebracht wird, drückt dieses gegen das hinter ihm liegende Wasser. Wäre das gestossene Wasser ein fester unverrückbarer Körper, so würde das Schiff mit der ganzen Kraft der Bewegung des Steuerruders in der entgegengesetzten Richtung, d. h. schief vorwärts gehen. Der Druck des Steuerruders theilt indess dem Wasser einen Theil seiner eigenen Bewegungskraft mit, mit die-

ser weicht das gedrückte Wasser von der Stelle; der ganze übrige Theil der Kraft des Steuerruders entfernt das gedrückte Wasser und die Masse des Schiffes von einander, und dieses geht nun in schiefer Richtung vorwärts. Der entgegengesetzte Schlag des Steuerruders giebt dem Schiff die Projection in entgegengesetzt schiefer Richtung, und eine schnelle Folge von Schlägen des Steuerruders ertheilt dem Schiff die mittlere gerade Richtung. Da das Steuerruder nach jedem Schlag sich wieder für den neuen Schlag in einen Winkel gegen die Achse des Schiffes stellen muss, so würde diese Vorbereitung zum folgenden Schlag, da sie in entgegengesetzter Richtung geschieht, als der Schlag selbst, die Projection des Schiffes wieder aufheben, wenn diese Bewegung von gleicher Stärke als der Schlag des Steuerruders selbst wäre; wie in der That ein bloss im Wasser mit gleicher Kraft hin und her bewegtes Ruder dem Kahn keine Bewegung mittheilt. Die Bewegung des Fisches beim Schwimmen gleicht ganz der eines Kahnes, der nur durch die Bewegung des Steuerruders vorwärts getrieben wird; der Schwanz ist das Ruder. Zwei schnell auf einander folgende Schläge des Schwanzes nach der einen oder andern Seite sind bei vielen Fischen mit kürzerm Schwanze, wie bei Karpfen, hinreichend, um dem Fisch die mittlere Richtung mitzutheilen. Man sieht indess häufig beim langsamern Schwimmen, dass der Fisch durch die abwechselnden Schläge nach der einen und andern Seite eine mehr abwechselnd schiefe, als gerade Richtung erhält. Fische mit längerm Schwanz können zu gleicher Zeit zwei Bogen nach entgegengesetzten Seiten mit ihrem Schwanz machen und strecken; wodurch der Körper in der mittlern Richtung sogleich fortgetrieben wird. Die Schollen und die Cetaceen schlagen das Wasser in senkrechter Richtung. Das Schwimmen der Rochen geschieht theils durch die Schläge ihres Schwanzes und mit diesem wohl auch wie bei den meisten Fischen. Da ihre Brustflossen aber flügelartig ausgebreitet sind, so kömmt hier vorzugsweise die Bewegung dieser Flossen in Betracht, deren Antheil beim Schwimmen dem Werk der Flügel der Vögel gleicht. Bei den übrigen Fischen haben die Flossen an den Hauptbewegungen zum Schwimmen nur einen untergeordneten Antheil, wie schon Borelli bewies. *De motu animalium. Lugd. Bat.* 1685. *p.* 257. Die Flossen dienen ihnen, durch Druck gegen das Wasser sich aufrecht im Wasser zu erhalten, gleich Füssen, und ihr Wanken zu corrigiren. Nach Cuvier dienen sie ihnen auch, um Seitenbewegungen zu machen, wozu indess, wie man bei Karpfen sieht, das einseitige Beugen des Schwanzes viel wirksamer ist.

Die Vierfüsser schwimmen mittelst der Füsse als Ruder; wie die Kähne durch Ruder bewegt werden. Der Widerstand des mittelst des Ruders gedrückten Wassers ist die Ursache, dass, indem der Winkel zwischen dem Ruder und dem Kahn sich vergrössert, der Kahn selbst fortgeschoben wird. Würde das Ruder mit gleicher Kraft und Stellung im Wasser vor und zurück bewegt werden, so würde der Kahn nicht von der Stelle kommen. Die Bewegung nach einer Richtung kommt dadurch

zu Stande, dass die Reposition des Ruders entweder in der Luft und nicht im Wasser, oder, wenn im Wasser, mit der Schneide des Ruders geschieht. In demselben Fall befinden sich die Schwimmer mit Füssen. Die Reposition der Hände und Füsse geschieht so, dass sie mit kleinerer Fläche auf das Wasser drücken, als bei der Schwimmbewegung. Der Mensch bringt die Arme mit schneidendem Rande der Finger in ihre Stellung und wirkt auf das Wasser mit der Fläche der Hände. Auch beim Schwimmen der Vierfüsser ohne breite Hand, wie beim Pferd, ist die Wirkung der Füsse beim Schlagen des Wassers grösser als bei der Reposition und darum kommen sie vorwärts; beim Rückwärtsbewegen ihrer Beine wirken sie mit einer grossen Oberfläche derselben, beim Vorstrecken ist die Oberfläche, womit sie auf das Wasser stossen, viel kleiner. Die Vierfüsser sind meist von Natur Schwimmer, weil sie die Beine beim Schwimmen in ähnlicher Art wie beim Gehen brauchen und weil sie bei der Länge der Schnautze und Kleinheit des Hirnschädels, durch Erheben der Schnautze das Luftloch zum Athmen so hoch stellen können, dass es den obersten Theil über dem Wasser bildet. Beim Menschen liegt der Eingang in die Athemwerkzeuge, nur wenn er auf dem Rücken im Wasser liegt, oben; der Mensch muss überdiess eine ihm nicht gewöhnliche zweckmässige Bewegung der Arme und Beine zum Schwimmen erst lernen, nämlich diejenige, wobei die Reposition der Extremitäten in ihre Stellung zum Schlag mit kleinerer Oberfläche auf das Wasser wirkt, als die Schwimmbewegung derselben. Zur Erhaltung auf der Oberfläche des Wassers ist bei dem geübten Schwimmer ausser dem Einathmen nur eine geringe Bewegung nöthig; er wird getragen so lange als seine von Luft ausgedehnten Lungen ihn leichter machen als das Wasser. Der Mensch ist, wie die Thiere, an sich schwerer als das Wasser, und sinkt darin, wenn er keine Bewegung dagegen macht, von selbst unter, sobald er ausathmet. So lange seine Brust aber von Luft weit ausgedehnt ist, erhält er sich, wenn der Körper ausgestreckt auf dem Rücken liegt. Würden wir nicht nöthig haben auszuathmen, würden wir die Brust in Einem fort von Luft ausgedehnt erhalten können, so würden wir auch ohne alle Bewegungen nicht untergehen. So aber müssen wir das beim Ausathmen regelmässig erfolgende Sinken durch Bewegungen, durch Stossen gegen das Wasser nach unten, corrigiren. Die Vögel werden auf dem Wasser erhalten, wegen der Luft, welche ihre mit den Lungen communicirenden Unterleibszellen und ihre Knochen enthalten. Zum Tauchen haben die Vögel nöthig stark auszuathmen. Die Schwimmvögel brauchen ihre Füsse als Ruder, die Schwäne bedienen sich ihrer ausgespannten Flügel auch zum Segeln.

Die Schwimmblase vieler Fische, welche sich nach v. Baer's Untersuchung (Mueller's *Archiv* 1835. *p.* 234.) wie die Lunge aus dem Schlund entwickelt, erleichtert das Schwimmen in den oberen Regionen des Wassers, und durch die Zusammendrückbarkeit der in ihr enthaltenen Luft vermöge der Seitenmuskeln sind die Fische fähig, in verschiedenen Höhen, je nach dem grössern oder geringern Druck zu schweben. Ueber die Structur der Schwimmblase siehe

oben B. I. 2. Aufl. p. 298. Da dieses Organ im obern Theil der Bauchhöhle liegt, wo wegen der starken Rücken- und Seitenmuskeln sonst der Schwerpunct des Fisches liegen würde, so dient es auch dazu, dass die Fische aufrecht im Wasser sich erhalten, obgleich es hierzu nicht unumgänglich nothwendig ist. Fische, deren Schwimmblase zerrissen ist, kommen nicht mehr an die Oberfläche des Wassers und fallen leicht auf die Seite.

Fliegen. (Borelli a. a. O., Cuvier *Vergl. Anat. I. p.* 10., Fuss *Nov. act. soc. sc. Petrop. XV.* 1806., Silberschlag *Schriften der Berl. Ges. naturf. Freunde.* 1784. *II.*, Horner in Gehler's *physik. Wörterb. IV. p.* 477.)

Der Flug beruht darauf, dass die sich blattartig ausbreitenden vorderen Extremitäten eines Thiers mit möglichst grosser Oberfläche auf die Luft schlagend wirken. Die durch ihren Widerstand und durch ihre Elasticität gegen die ihr mitzutheilende Bewegung rückwirkende Luft ist die Ursache, dass der Körper des Thiers gehoben wird. Die Ausführung einer solchen Bewegung erfordert eine ausserordentliche Verstärkung der Brustmuskeln, einen eigenthümlichen Bau der Brust, welche in ihrem Rückentheil unbeweglich ist, und durch den Kiel des Brustbeins einen grossen Raum zum Ansatz der Pectoralmuskeln darbietet, während die Schultergelenke nicht bloss durch die starken Schlüsselbeine, sondern auch durch die beide Schultergelenke verbindende Gabel eine Stütze erhalten. Würde die Reposition des Flügels in die Stellung zum Schlagen mit gleich grosser Oberfläche, wie beim Schlagen geschehen, so würde die Wirkung wieder aufgehoben werden; indem aber der Vogel den Flügel nach jedem Schlag zusammenschlägt und ihn dann wieder ausbreitet, wird die Projection in einer Richtung möglich. Damit der Flügel beim Schlag nicht nachgebe gegen den Widerstand der Luft und steif ausgedehnt wirke, ist es nöthig, dass die Beugung und Streckung der Hand gegen den Vorderarm wegfalle. Die Hand des Vogels ist nur der Abduction und Adduction fähig, Bewegungen, durch welche die Hand bald gegen den Vorderarm umgeschlagen und angelegt, bald entfaltet wird. Eine Folge von Schlägen der Flügel führt den Vogel bei wagerechter Stellung der Flügel senkrecht in die Höhe, wie es bei den Lerchen der Fall ist. Bei einer geneigten Lage der Flügel, wo seine untere Fläche zugleich nach hinten sieht, muss der Vogel schief aufsteigen, der Wurflinie folgen und in ähnlicher schiefer Richtung fallen, als er aufgestiegen ist; bei regelmässig wiederholtem Schlag der Flügel wird er in einer Wellenlinie horizontal fortschweben. Die Neigung der Flügel zu der horizontalen Bewegung braucht jedoch nicht stark zu seyn, denn selbst bei einem wagerechten Schlag des Flügels müssen die biegsamen Schwungfedern durch den Widerstand der Luft sogleich eine schiefe Ebene gegen den vordern nicht beweglichen Rand des Flügels bilden. Borelli hat schon diesen Einfluss nachgewiesen. Beugungen des Flügels nach der Seite geschehen durch ungleiche Schwingungen beider Flügel, nicht durch Seitwärtsbeugung des Schwanzes, indem Tauben, der Schwanzfedern beraubt, noch gut zu schwenken verste-

hen. Durch die Beugung des Schwanzes wird der hintere Theil des Körpers gehoben, der vordere gesenkt.

In der Unbeweglichkeit des Rückens der Vögel erhält der Rumpf, in dessen unterm Theile der Schwerpunkt liegt, die nöthige Festigkeit zur Ausführung der Schwungbewegungen der Flügel; sein zugespitzter Kopf macht den Vogel zum Durchschneiden der Luft geschickt, und in dem langen Halse besitzt er ein Mittel, durch Verkürzung und Verlängerung den Schwerpunct zu verändern. Zur Vermehrung der Oberfläche des Flügels dienen nicht bloss die Schwungfedern, sondern auch die Haut, in sofern sie beim Ausstrecken des Flügels im Winkel zwischen dem vordern Rande des Oberarms und Vorderarms, durch einen Muskel, den Spanner der Flughaut, als eine Falte ausgebreitet wird. Im vordern Rande dieser Falte liegt ein elastisches Band, welches in der Ruhe den Vorderarm von der Handwurzel aus gegen den Oberarm anzieht. Der Spanner der Flughaut geht in eine doppelte Sehne über, wovon die eine fibröser Natur, mit dem Musculus radialis externus longus und der fascia antibrachii zusammenhängt, die andere das elastische Band im vordern Rande der Flügelfalte ist, welches sich an die Handwurzel und Hand befestigt. Lauth *mém. de la soc. d'hist. nat. de Strasb. T. I.* Die straussartigen Thiere, Struthio camelus, Rhea americana, Casuarius indicus, Dromaius novae Hollandiae, und einige Wasservögel wie die Aptenodytes und Alca fliegen bei der Kleinheit ihrer Flügel gar nicht.

Die Luft in den Knochen der Vögel hat offenbar den Zweck, diese Knochen leichter zu machen, als sie es seyn würden, wenn sie Mark enthielten. Die Anfüllung der Luftsäcke der Vögel, die mit den Lungen in Verbindung stehen, kann übrigens den Vogel nicht specifisch leichter machen, als er sonst ist, da diese Luft fast dieselbe Dichtigkeit wie die atmosphärische Luft hat. Siehe oben I. 2. Aufl. p. 289. Bei vielen Insecten scheint die Anfüllung ihrer sonst zusammengefalteten Flügel mit Luft, innerhalb der sich darin verzweigenden Luftgefässe, zur Steifigkeit und Straffheit der Flügel beizutragen.

Ausser den Vögeln giebt es unter den übrigen Classen der Wirbelthiere auch einzelne Thiere, welche fliegen oder sich wenigstens mittelst Flügelhäute oder langer Flossen einige Zeit in der Luft zu erhalten vermögen. Unter den Säugethieren besitzt die Ordnung der Fledermäuse eine vollkommene Einrichtung ihrer vorderen Extremitäten zum Flug. Die zum Schlagen der Luft bestimmte Fläche wird hier durch eine, zwischen den verlängerten vier Fingern und Mittelhandknochen ausgespannte Haut gebildet, welche auch den Winkel zwischen Oberarm und Vorderarm ausfüllt, und auch zwischen den verlängerten Armknochen und den Seiten des Körpers bis zu den Hinterfüssen und von diesen bis zum Schwanze sich hinzieht. Die Flughaut der Fledermäuse enthält auch elastisches Gewebe. Unter den Amphibien waren die vorweltlichen Pterodactylus eigentliche Flieger; von ihren Fingern ist jedoch nur der äusserste sehr lange ein Flügelfinger, während die vier übrigen kurz und mit Krallen bewaffnet sind, wie bei den Fledermäusen der Daumen.

Andere Thiere verschiedener Classen haben zwar eine Flughaut zwischen den kurzen, sämmtlich mit Krallen bewaffneten Fingern, zwischen Oberarm und Vorderarm, zwischen den Armen und Beinen, aber diese Haut ist hier nur Fallschirm, wie beim Galeopithecus. Von ähnlicher Art ist die zwischen den vorderen und hinteren Extremitäten der fliegenden Eichhörnchen (Pteromys), der fliegenden Phalanger (Petaurus) und die zwischen den verlängerten hinteren Rippen der Amphibien mit Fallschirm, Draco, ausgespannte Flughaut.

Einige Fische (Dactylopterus, Exocoetus) vermögen sich, mittelst ihrer verlängerten Brustflossen, ein Stück über das Wasser zu erheben.

Kriechen.

Beim Kriechen und Gehen leistet ein fester Körper den Widerstand. Beide unterscheiden sich nicht wesentlich, als dass beim Gehen besondere Extremitäten die Last des Körpers sowohl stützen als projiciren, während beim Kriechen diess nur von aliquoten Theilen des wurmförmigen Körpers geschieht. Beim Gehen werden Winkel der Beine gestreckt und gebogen, beim Kriechen wird der wurmförmige Körper selbst gebogen und gestreckt. Beide Bewegungen können sowohl im Wasser als in der Luft als Medium vor sich gehen. Die Art zu kriechen kann sehr mannigfaltig seyn. Dem Gehen sich annähernd ist dasjenige Kriechen, wo nur zwei Puncte des Körpers auftreten, die übrigen vom Boden erhoben sind. Die Blutegel z. B. befestigen das hintere Ende ihres Körpers an den Boden durch die Saugscheibe, verlängern den Körper, halten sich dann mit dem vordern Ende an, ziehen das Hinterende nach, befestigen dann letzteres wieder und strecken den Körper wieder vorwärts aus. Bei anderen Würmern, z. B. beim Regenwurm, findet dieses Spiel vielfach am Körper statt, und so kann auch der Blutegel kriechen. Da giebt es viele Theile, die sich aufstützen, während andere von der Stütze aus vorgeschoben werden. Zum Aufstützen dienen entweder sich anlehnende Ringe oder Borsten, oder Fussstummel mit Rauhigkeiten wie bei den Raupen. Am merkwürdigsten und räthselhaft ist das Kriechen der Schnecken auf der Fläche ihres Fusses, besonders wenn es auf glatten Körpern, z. B. Glas, geschieht. Hier sieht man, bei ganz gleichmässigem Fortrücken des Körpers auf der glatten Fläche, nur ein Spiel der kleinsten Theile des muskulösen Fusses und eine wellenförmige Bewegung über die Fläche des Fusses hingehen. Da keine anderen Apparate zum Stützen, wie es für die Bewegung in einer Richtung nothwendig ist, vorhanden sind, so bewirkt wahrscheinlich die Sohle durch Erheben einzelner Theile oder Ansaugen, die schnell vorübergehende Fixation, die bald wieder anderen Theilen übertragen wird.

Das Kriechen der Schlangen ist sehr eigenthümlich, indem der Körper beständig und schnell in einer horizontalen Wellenlinie fortrückt, so dass jeder Punct des Körpers dieser Wellenlinie folgt. Das Stützen und Stemmen geschieht durch Auftreten mittelst des Endtheils der Rippen, wobei die sich aufstemmenden Schuppen mitwirken, während die hinter den Stütz-

puncten liegenden Theile gegen die gestützten nachgezogen und andere vorgeschoben werden.

Gehen und Laufen. (Nach W. und E. Weber.)

Beim Schwimmen wird der Körper ganz oder zum Theil vom Wasser getragen und seine Kraft grösstentheils nur für die Projection der Masse in Anspruch genommen. Beim Flug trägt das Medium den Körper nicht, und es wird so viel Kraft in Anspruch genommen, dass das jedesmalige Fallen nach einer Projection wieder aufgehoben wird. Beim Gang wird der Körper durch seine Kraft getragen und fortbewegt, und das Eigenthümliche dieser Bewegung liegt noch darin, dass der Körper abwechselnd durch die eine auf den Boden gestützte Extremität getragen wird, während er durch die andere projicirt wird. Ein Kahn, der vom Wasser durch Stemmen eines Stabs gegen den Boden bewegt wird, würde die eine Hälfte dieser Bewegung repräsentiren. Was hier das Wasser zum Tragen der Last thut, muss bei der Bewegung des Ganges in der Luft durch eine Extremität geschehen. Beim Sprung, wo der Körper auf einen Zeitabschnitt, durch die ihm mitgetheilte Projection, schwebend erhalten wird, fällt dieses zweite Moment der Bewegung bis zum Ende des Sprunges aus. Hier erhält sich der Körper, wie beim Flug, durch dieselbe Bewegung, die ihn projicirt; während das zur Stütze dienende Medium verschieden, nämlich fester Körper ist. Am Ende der Wirkung eines Flügelschlags wird der Körper des Vogels durch eine neue Projectionsbewegung vor dem Fallen gesichert, am Ende der Sprungbewegung hindert den Körper die eigene Unterstützung seiner selbst vor dem Fallen.

Das Mittel, durch welches diese Bewegungen ausgeführt werden, ist die Streckung zweier in entgegengesetzter Richtung gebogener Gelenke, namentlich des Fussgelenks und Kniegelenks. Hierdurch wird die Projection des Schwerpuncts ausgeführt, während die zweite Extremität die Last gegen das Ende dieser Projection trägt. Beide Extremitäten wechseln im Tragen und Bewegen der Last ab. Da diese Bewegungen jedesmal von der Seite ausgehen, so erhält der Rumpf von der sich streckenden Extremität nicht bloss den Impuls nach vorwärts, sondern auch etwas nach der entgegengesetzten Seite. Dagegen fällt der Arm jedesmal auf der Seite vor, wo die Extremität in der Streckung begriffen ist.

Die Untersuchungen von Eduard Weber über die Gelenke, und diejenigen von E. Weber und W. Weber über die Bewegungen des Gehens und Laufens haben uns noch mit vielen bisher übersehenen, diese Ortsbewegungen betreffenden, merkwürdigen physikalischen Thatsachen und ihren Gesetzen bekannt gemacht. Durch die Entdeckungen dieser Forscher ist die Physik dieser Bewegungen erst zu einer rationellen Schärfe gebracht worden. Die wichtigsten Aufschlüsse, welche sie geliefert, theile ich hier in kurzem Auszuge aus ihrem Werke mit.

Obenan und als Schlüssel zu vielen anderen merkwürdigen Thatsachen steht die Entdeckung von E. Weber, dass der Schenkelkopf durch die blosse Schwere der Extremität von der ihm

genau anpassenden Fläche der Pfanne nicht entfernt, dass er vielmehr durch den blossen Luftdruck dicht an der Pfanne anliegend zurückgehalten wird und in dieser Lage seine Bewegungen ausführt. Werden die Muskeln um das Hüftgelenk sämmtlich durchschnitten, so fällt der Kopf von dem Gewichte der Extremität nicht aus der Pfanne. Sobald aber der Luftdruck auf die Oberfläche des Schenkelkopfes wirken kann, indem ein Loch vom Becken aus in die Pfanne gebohrt worden ist, fällt der Kopf sogleich herab. Die drei Gebrüder Weber haben auch den Einfluss der Luftpumpe auf das Gelenk untersucht; Prof. Magnus und ich waren bei diesen Versuchen zugegen. Das Hüftgelenk eines Menschen ward rein präparirt, das Oberschenkelbein bis unter die Trochanteren abgeschnitten, darauf die Kapsel vorsichtig rundum geöffnet; das Schenkelstück mit einem Gewicht von zwei Pfund beschwert und das Hüftgelenk in einer Glocke aufgehängt. Als die Luft aus dieser Glocke bis auf einen Zoll Druck entfernt war, senkte sich der Kopf ziemlich rasch sieben Linien, ohne jedoch das Labium cartilagineum zu verlassen; und als die Luft wieder zugelassen wurde, stieg er schnell wieder auf. Selbst als man den Kopf mit Gewalt aus der Pfanne entfernt und ihn dann wieder fest eingedrückt hatte, so dass die Luft zwischen Pfanne und Kopf entwich, haftete er fest und konnte durch senkrechten Zug schwer ausgezogen werden. Das Gelenk, wieder dem luftleeren Raum ausgesetzt, zeigte dieselben Erscheinungen; aber nun fiel der Kopf bei einem Zoll Luftdruck wirklich aus. Dasselbe Verhalten scheint bei allen Nussgelenken Statt zu finden. Es geht aus dieser wichtigen Entdeckung hervor, dass die frei schwebende Extremität ihr Verhältniss zum Gelenk bei allen Rotationen durch den blossen Luftdruck behält; daher eine Ausweichung des Schenkelkopfes durch blosse Erschlaffung der Muskeln nicht möglich ist. Beim Ersteigen der höchsten Gebirge, wo die Luft sehr verdünnt ist, muss dagegen die Kraft der Muskeln nöthiger werden, die Köpfe der Gelenke in ihren Pfannen zu erhalten, und es scheint, dass die eigene Art von Müdigkeit, welche auf hohen Gebirgen Reisende an sich beobachtet haben, auf diese Rechnung kommt. Also erst im luftverdünnten Raum können die Gelenke schlaff und schlotternd werden.

Die Gebrüder Weber haben ferner auf die Wichtigkeit der Pendelschwingungen der Extremitäten beim Gehen aufmerksam gemacht. Steht der Körper durch das eine Bein auf einer erhobenen Unterlage, so kann das andere Bein, in Bewegung gesetzt, wie ein Pendel hin und her schwingen. Diese Schwingungen können auch statt finden, wenn man mit dem einen Beine auf ebenem Boden steht, sofern das andere Bein dann so viel gebeugt wird, dass es nicht aufstösst. Die Dauer dieser Schwingungen hängt, wie die Schwingungsdauer eines Pendels, von der Länge des Beins und davon ab, wie die Masse desselben vertheilt ist. Die Schwingungen erfolgen also bei Menschen mit kurzen Beinen geschwinder, mit langen Beinen langsamer; bei demselben Menschen ist aber die Zahl dieser Schwingungen in einer Zeit immer dieselbe. Durch diese Eigenschaft der Beine und dadurch,

dass der Schritt des vorher gestreckten hintern Fusses mit einer Pendelschwingung anhebt, ist die grösste Regelmässigkeit der Schritte möglich, selbst wenn unsere Aufmerksamkeit nicht gerade auf das Gehen gerichtet ist. Beim Gehen ist das in der Pendelschwingung begriffene Bein etwas gebeugt, um nicht anzustossen.

Im Allgemeinen ist nun der Mechanismus des Gehens folgender. Beide Beine wechseln in der Function, den Rumpf zu tragen, ab, und der Moment, wo die Extremität trägt, geht alsobald in denjenigen über, wo sie durch Erhebung der Ferse den Rumpf zugleich projicirt. Im Moment, wo die Projectionsbewegung von dem hintern Fuss *A* vollführt ist, ist der Körper auf dem Beine *B* gestützt, aber diese stützende Extremität rückt während der Projectionsbewegung des Körpers in eine schiefe Richtung, um, während das Bein *A* die Pendelschwingung nach vorwärts zum neuen Schritte macht, sich durch Abwickeln der Fusssohle vom Boden zu verlängern und dem Körper einen neuen Impuls zu geben. Die in der Schwingung nach vorwärts befindliche Extremität *A* wird nun die stützende, u. s. f. Die Gebrüder Weber vergleichen die Abwickelung der Fusssohle vom Boden mit einem auf dem Boden fortrollenden Rade. Durch diese Abwickelung der Sohle wird der Schritt um die ganze Länge des Fusses verlängert. Man kann bei jedem Schritte zwei Zeiträume unterscheiden, einen, wo der Körper mit dem Boden nur durch ein Bein, und einen kürzern, wo er durch beide Beine in Verbindung steht. Nur beim schnellsten Gehen, wo das Gehen an das Laufen grenzt, findet ein solcher Wechsel statt, dass das eine Bein zu tragen anfängt, wenn das andere zu tragen aufhört. Beim gewöhnlichen Gehen giebt es zwischen beiden Zuständen einen Uebergangszustand, und dieser dauert von da an, wo das vordere Bein aufgesetzt wird, bis da, wo das hintere Bein den Boden verlassen hat. Nach Weber ist dieser Zeitraum beim langsamen Gehen ungefähr halb so gross als der, wo man auf einem Beine steht. Je geschwinder man geht, um so kleiner wird er.

Der Rumpf bleibt beim Gehen vorwärts geneigt, und diess ist nothwendig zum leichten Gehen, denn es ist unmöglich, einen senkrechten, auf den Fingern balancirten Stab vorwärts zu bewegen, ohne dass er falle. Wollte man bei senkrechter Haltung des Körpers gehen, so müsste eine Muskelkraft in jedem Augenblicke das Gleichgewicht, das durch den Widerstand der Luft gestört wird, wieder herstellen. Beim geschwinden Gehen kömmt Folgendes zusammen: eine grössere Neigung des Rumpfes, ein kleiner oder gar kein Zeitraum, wo man auf beiden Beinen steht, Grösse und Geschwindigkeit der Schritte. Die Grundbedingungen zu allen diesen Wirkungen liegen, wie W. und E. Weber zeigen, in der geringern Höhe, in welcher man die beiden Schenkelköpfe über dem Boden hin trägt. Die Schritte sind, wenn jene niedrig getragen werden, grösser, weil das Bein, welches auftreten soll, beim Gehen nur wenig sich von der verticalen Lage entfernen kann, wenn sein oberes Ende hoch liegt. Die Schritte sind also bei einer niedrigen Lage der Schenkelköpfe grösser. Aber auch

der Schritt hat unter diesen Umständen kürzere Dauer; denn je tiefer die Schenkelköpfe beim Gehen liegen, desto geneigter wird die Lage des stemmenden Beines und desto grösser, geschwinder die Bewegung, welche es dem Rumpfe mittheilt. Was ferner die Zahl der Schritte betrifft, die man beim Gehen in gegebener Zeit macht, so hängt sie theils von der Länge des pendelartig nach vorn schwingenden Beines, theils von der frühern oder spätern Unterbrechung dieser Schwingung durch das Aufsetzen des schwingenden Beines ab. Je länger das Bein ist, um so langsamer erfolgen seine Schwingungen, abgesehen von einer durch Muskelanstrengung beschleunigten Bewegung des nach vorn schwingenden Beines. Abgesehen von dieser möglichen Beschleunigung giebt es daher bei jedem Menschen eine gewisse grösste Zahl der Schritte, die beim bequemen Gang nicht überschritten werden kann. Sie tritt dann ein, wenn das schwingende Bein nach Zurücklegung der Hälfte seiner Schwingung schon aufgesetzt wird. Aber die Aufeinanderfolge der Schritte kann verlangsamt werden, wenn man dem schwingenden Beine Zeit lässt, vor dem Auftreten einen grössern Theil seines Schwingungsbogens, als die Hälfte zurückzulegen.

Es liegt in der Natur des Ganges, dass der Körper je nach den Zeitmomenten der Impulse sich etwas heben und dann wieder senken müsse. Diese verticalen Schwankungen sind indess, weil die Beine sich verlängern und verkürzen können, sehr klein und betragen nach Weber nur etwa 32 Millimeter.

Die Schwingungen der Arme geschehen immer in entgegengesetzter Richtung von den Schwingungen der Beine. Das stemmende Bein ertheilt dem Rumpfe einen Impuls, dessen Folge das Vorfallen des entgegengesetzten Beines und beider Arme seyn könnte. Indess fällt mit dem entgegengesetzten Bein immer nur der mit dem stemmenden Bein gleichnamige Arm vor, während der andere Arm in der Rückwärtsschwingung ist. Diese Vertheilung der Schwingungen, die wir uns so angewöhnen, dass sie ungerufen eintritt, trägt zur Erhaltung einer guten Haltung und des Gleichgewichts nicht wenig bei. So fällt nämlich auf jeder Seite gleichzeitig ein Glied, einerseits ein Bein, anderseits ein Arm vor, und es werden dadurch die Fehler corrigirt, welche in der Bewegung des Rumpfes durch die Vorwärtsschwingung des Beines entstehen können.

Beim Laufen ist das characteristisch, dass immer nur ein Bein den Boden berührt, statt dass es beim Gehen einen Zeitpunct giebt, wo beide Beine auf dem Boden stehen. Bei schnellerm Laufen tritt sogar ein Zeitpunct ein, wo der Körper weder von dem einen, noch von dem andern Bein gestützt wird und eine kurze Zeit vermöge einer ihm ertheilten Wurfbewegung in der Luft schwebt.

Das Gehen der Vierfüsser findet im Allgemeinen nach denselben Principien statt, wie das Gehen der Zweifüsser; nur giebt es hier eine grössere Zahl von Modificationen in Hinsicht der Art, wie die Thiere auftreten, und in Hinsicht der Folge oder Gleichzeitigkeit der Actionen der Glieder. Manche Thiere, wie die Affen und Plantigraden (Ursus, Procyon, Nasua u. a.), treten

mit der Sohle auf. Bei den Beutelthieren erhebt sich die Fusswurzel schon; die Digitigraden unter den Carnivoren und die Nager gehen ganz auf den Zehen allein; unter den Digitigraden das Katzengeschlecht auf den zwei hinteren Phalangen, während die Krallenglieder durch elastische Bänder beim Gehen zurückgezogen sind. Die Schweine, Einhufer, Wiederkäuer treten nur mehr auf dem letzten Zehengliede auf; bei den Wiederkäuern sind es die letzten Glieder zweier Zehen, während die Rudimente zweier anderen den Boden nicht erreichen, und bei den Pferden ist nur eine einzige, mit dem äussersten Gliede auftretende Zehe übrig geblieben.

Aber auch die Zusammenwirkung der vier Extremitäten ist beim Gange äusserst verschieden. Der Hauptantrieb der Bewegung geschieht hier durch die Hinterfüsse und durch die Entwicklung ihrer Gelenke. Die Vorderfüsse dienen hauptsächlich zur Stütze, seltner bei unvortheilhaft zum Gehen organisirter Structur der Hinterfüsse, um ihnen, wenn sie ausgestreckt sind, den Körper nachzuziehen, wie bei den Faulthieren.

I. Schritt. Er besteht aus vier verschiedenen Actionen, und die vier Füsse treten nach einander in bestimmter Ordnung vor, $\begin{smallmatrix} a & b \\ c & d \end{smallmatrix}$. Zuerst z. B. *a*, dann *d*, dann *b*, dann *c*. Also die diagonalen Füsse treten nach einander vor, sie bilden im nächsten Augenblick die Stützen, wenn nämlich durch die Entwicklung der Gelenke des andern aufstehenden Hinterfusses, desjenigen der zuhinterst steht, der Körper den Impuls erhält. Während dieser Projection nach vorn, auf die Stütze der diagonalen vorgesetzten Füsse wird der mit dem stemmenden Hinterfuss diagonale Vorderfuss vorgesetzt, und der in der Stemmung gewesene Hinterfuss rückt ihm sogleich nach. Nun übernehmen die diagonalen stützenden Extremitäten die Rolle der anderen. Der vorher stützende Hinterfuss ist nun der hinterste und wird jetzt der stemmende. Diess ist die gewöhnlichste Gangart sowohl bei den Säugethieren als bei den Amphibien.

II. Pass. Beim Passgang wird der Körper abwechselnd auf die beiden Füsse derselben Seite geschoben und wankt daher von einer zur andern Seite. Man sieht diese Gangart zuweilen bei jungen und schwachen Pferden, auch bei der Giraffe.

III. Trab. Er hat nur zwei Momente, indem jedesmal zwei Extremitäten, nämlich die diagonalen, zugleich auftreten. Die gewöhnliche schnellere Gangart unter den Säugethieren, zuweilen auch bei Amphibien, z. B. Salamandern.

IV. Galopp. Drei Momente. Auf den Hinterbeinen erhebt sich der ganze Körper und wird durch Stemmung derselben vorwärts geworfen. Die Vorderfüsse treten in zwei Momenten, nämlich nach einander, von der Rechten zur Linken (Galopp zur Rechten), oder von der Linken zur Rechten (Galopp zur Linken) auf, darauf springt das Hintertheil durch Entwickelung der Gelenke vom Boden auf und beide Hinterfüsse werden vorgesetzt u. s. w. Je höher die Hinterfüsse sind, um so mehr muss das Thier bei dem Stemmen der Hinterfüsse, wodurch die Bewegnng des Rumpfes nach vorn geschieht, den vordern Theil des Kör-

pers heben, damit dieser nicht überfalle. Dieses Bäumen haben z. B. die Hasen und Mäuse u. a. nöthig. Diese Thiere würden wie die anderen Vierfüsser unbequem gehen. Ihr Gang ist dem Tempo des Sprunges ähnlich. Die Nager, auf der Ebene gehend schreiten mit den Vorderfüssen und setzen die Hinterfüsse im nächsten Tempo nach. Eine Art der Bewegung, die auch bei den Fröschen vorkommt.

V. Galopp forcé. Zwei Momente. Unterscheidet sich von dem vorhergehenden dadurch, dass auch die Vorderfüsse gleichzeitig aufgesetzt werden.

Cuvier macht bereits darauf aufmerksam, dass die Gelenke der Säugethiere bei ihren Gangbewegungen sich in Ebenen beugen und strecken, welche der Wirbelsäule fast parallel sind. Bei den eierlegenden Vierfüssern, wie Eidechsen und anderen, sind dagegen die Kniegelenke und Ellenbogengelenke mehr, oft sehr auswärts gerichtet, was wieder Einfluss auf die Stellung der Füsse hat. Daher denn die Spur dieser Thiere schon aus der Stellung der Füsse von der eines Säugethiers zu unterscheiden ist.

Sprung. (Treviranus *Zeitshrift f. Physiol. IV.* 1. 87.)

Der Sprung ist eine Ortsbewegung des thierischen Körpers, die durch längere gänzliche Erhebung vom Boden sich auszeichnet. Sie geschieht, bei vollem Sprunge, durch Entwickelung oder Strecken dreier Gelenke, die hinter einander in entgegengesetzten Richtungen vor dem Sprunge gebogen sind, des Hüftgelenks, des Kniegelenks und Fussgelenks. Vor dem Sprunge steht entweder die ganze Sohle auf, oder nur die Zehen; im ersten Fall wird bei der Streckung des Fussgelenks die ganze Sohle abgewickelt, im zweiten Fall das in der Vorbereitung zum Sprung schon gestreckte Fussgelenk noch stärker gestreckt. Der Körper ist immer gegen den Oberschenkel vorher geneigt. Eine gleichzeitige Entwickelung dieser drei Gelenke ist nöthig zu einer so kräftigen Bewegung, die den Körper vom Boden bedeutend zu erheben vermag. Wäre kein Widerstand vorhanden, so würde die Streckung eine Verlängerung des Körpers an beiden entgegengesetzten Enden hervorbringen. Das Hinderniss des Bodens ist die Ursache, dass, indem der Impuls dem Schwerpuncte des Körpers mitgetheilt wird, dieser eine Wurfbewegung in der mittlern Richtung der sich entwikkelnden Gelenke beschreibt. Die Richtung des Sprunges hängt nicht allein von der Neigung eines der Glieder der Extremitäten ab, und es ist z. B. nicht nöthig, um senkrecht zu springen, dass der Unterschenkel eine fast senkrechte Richtung gegen den Fussboden erhalte, wie Treviranus a. a. O. behauptet. Die Neigung des Unterschenkels gegen den Boden kann eine ganz beliebige seyn, und doch lässt sich dabei sowohl nach vorn als nach rückwärts und aufwärts springen. Die Hülfsmittel, welche wesentlich beim Sprung nach hinten dienen, werden deutlicher, wenn man diesen Sprung mit den allereinfachsten Hülfsmitteln zu machen sucht. Man kann nämlich ohne allen Antheil des Fussgelenks nach hinten springen oder hüpfen, wenn man sich auf die Kanten der Absätze der Schuhe stellt und eine kräftige Streckung des vorher gebogenen Kniegelenks vollzieht, ohne eine Bewegung

im Hüftgelenk wahrzunehmen. In diesem Fall erhält der Körper eine schiefe Bewegung in der Richtung einer zwischen der Ferse und dem Hüftgelenk gezogenen Linie, und da diese Linie hinter den vom Schwerpunct auf die aufstehenden Hacken fallenden Perpendikel fällt, so erhält der Körper im Hüftgelenk einen Impuls nach aufwärts und rückwärts.

So kann man auch bei aufstehender ganzer Sohle, ohne dass sich das Fussgelenk streckt, nach hinten durch Streckung des Kniegelenks springen. Der Fall, wo man auf den Zehen stehend nach hinten springt, ist ganz derselbe, der Stützpunct ist nur ein anderer; der Impuls erfolgt auch durch das Kniegelenk. Daher kann man, sobald das Hüftgelenk bis in den Perpendikel des Schwerpunctes oder des Stützungspunctes gebracht wird, nicht mehr nach hinten springen.

Man kann auch auf den Hacken stehend nach vorwärts springen, so dass die Entwickelung des Fussgelenks keinen Antheil am Sprung hat. Beobachtet man sich dabei, so sieht man, dass das Knie auch seine gebeugte Stellung beim Sprung fast unverändert behauptet, dass aber der Winkel zwischen Rumpf und Oberschenkel jedesmal sehr stark gestreckt wird und dass der ganze Rumpf an diesem Sprung oder Hüpfen Antheil hat. Die beiden Schenkel des sich streckenden Bogens sind hier, der eine die ganze steifgehaltene Extremität von der Hacke bis zum Schenkelkopf, der andere Schenkel der ganze Rumpf; beide Schenkel dieses Winkels streben sich in eine Direction zu strecken, die vor den Perpendikel des Stützpunctes fällt.

Man kann ferner mit steifgehaltenem, gebeugtem Kniegelenk durch blosse Entwickelung des Fussgelenks vorwärts springen oder hüpfen, wenn die Linie, welche die beiden Schenkel dieses Gelenks zu erzielen streben, sich nach vorwärts über den Perpendikel des Stützpunctes neigt.

Endlich kann man mit Gebrauch aller Gelenke vorwärts und rückwärts springen, sobald die mittlere Direction, welche die verschiedenen Gelenke dem Körper ertheilen, vorwärts oder rückwärts ist, oder die Richtung ihrer Entwickelung über den Stützpunct hinaus fällt.

Das senkrechte Springen kann bei jeder Neigung der verschiedenen Gelenke erfolgen, mag aus der Lage des einen oder andern die Direction nach vorwärts oder rückwärts folgen, wenn die verschiedenen Impulse sich nur compensiren, so dass die mittlere Direction nach aufwärts hervorgeht.

Bei den Vierfüssern kömmt der Sprung in doppelter Weise vor: als Sprung bei Unterstützung des Körpers durch die Vorderbeine und ohne diess. Im ersten Fall wird der Körper auf den Hinterbeinen aufgebäumt, durch Stemmung derselben vorwärts geworfen, die Vorderfüsse sodann aufgesetzt und die Hinterfüsse nachgezogen.

Springer, ohne Gebrauch der Vorderfüsse, sind mehrere Säugethiere mit sehr langen Hinterbeinen und sehr kleinen Vorderbeinen, zum Theil aus der Ordnung der Nager, wie die Spring-

mäuse, Dipus, Pedetes, zum Theil aus der Ordnung der Insectenfresser, wie Macroscelides, zum Theil aus der Ordnung der Beutelthiere, wie Halmaturus. Ferner gehören hieher viele hüpfende Vögel, namentlich Passerinen, unter den Amphibien die Frösche.

Klettern.

Der Mechanismus des Kletterns ist hinlänglich bekannt. Die Kletterer fixiren sich zum Theil durch ihre Nägel, wie die Katzen, Eichhörnchen, Didelphen, Phalangisten, und die Klettervögel mit einer oder zwei nach hinten gerichteten Zehen, einige, wie die Didelphen und Phalangisten, durch einen Greifschwanz und sogar einen abgesonderten entgegenstellbaren Hinterdaumen. Andere Thiere werden durch die Länge und Freiheit der Zehen, wie die Affen, deren Vorder- und Hinterdaumen zugleich entgegenstellbar ist oder zugleich durch ihren Greifschwanz, wie die Heulaffen Mycetes und die Cebus zum Umfassen der Körper geschickt. Die daumenlosen Affen, Ateles, sind beim Klettern durch die Länge ihrer Finger und Zehen und durch ihren Greifschwanz nicht weniger geschickt. Unter den Zahnlosen sind einige Ameisenfresser und die Faulthiere Kletterer durch die Fähigkeit ihre langen Krallenglieder einzuschlagen, die Kletterer unter den Ameisenfressern auch durch ihren Rollschwanz. Sowohl die Ameisenfresser als die Faulthiere gehen wegen der Länge der Krallen schlecht; auch treten sie vorzugsweise mit der äussern Seite des Fusses auf. Die Faulthiere sind wegen der unverhältnissmässigen Länge der Arme und Vorderarme zum Gehen auf den Füssen so ungeschickt, dass sie sich beim Gehen auf ihre Ellenbogen stützen. Gleichwohl ist es fehlerhaft diesen Thieren eine stiefmütterliche Ausstattung von Seiten der Natur zuzuschreiben, da ihre Glieder zum Heben und zur Bewegung auf Bäumen durchaus geschickt gebildet sind. Unter den Amphibien sind diesen Thieren die Chamäleone zu vergleichen, deren Finger gar, wie bei den Klettervögeln, in eine vordere und hintere Abtheilung zum Greifen zerfallen. Sie haben einen Wickelschwanz.

Welchen mannigfaltigen Veränderungen die Extremitäten der Wirbelthiere für den verschiedenen Zweck des Fliegens, Schwimmens, Greifens, Kletterns, Gehens, Grabens unterworfen sind, hat die vergleichende Anatomie ausführlicher zu entwickeln. Welche Verschiedenheit zwischen der Hand des Rochens und des Einhufers! Dort überwiegende Zahl der zur Flosse verbundenen Finger und überwiegende Zahl der Phalangen, ohne Oberarm und Vorderarm, während bei den fischartigen Säugethieren vermehrte Zahl der Phalangen wiedererscheint, aber zugleich ein verkürzter Oberarm und Vorderarm vorhanden sind; bei den Einhufern an dem andern Extrem Reduction der Hand und des Fusses auf einen einzigen Finger. Ueber die physiologische Bedeutung der Hand in den verschiedenen Thierordnungen, siehe Ch. Bell *the hand. Lond.* 1834.

Ein Blick auf die Gliederthiere in Hinsicht auf ihre Bewegungen, insbesondere ihre Gangbewegungen, nimmt zuletzt das Interesse des Naturforschers in Anspruch. Bedienen sich viele ihrer Gangfüsse (Hydrophilus u. a.) oder gewimperter Ruder-

füsse (Dytiscus, Notonecta u. a.) als Ruder, so erheben sich die Hydrometren auf die Oberfläche des Wassers und bieten uns das merkwürdige Schauspiel dar, dass ein leichter Thierkörper auf der Oberfläche des Wassers forthüpft, während seine Füsse auf das Wasser auftreten. Der Gang der Insecten auf dem Lande erscheint so behende und regelrecht, als man es auf den ersten Blick bei der vermehrten Zahl der Extremitäten nicht erwarten sollte. Jede Action, an der viele Glieder theilnehmen, wird durch eine bestimmte Ordnung derselben gefördert; so sehen wir auch den Gang der Insecten trotz der sechs Extremitäten ganz einfach. Beobachtete ich den Gang langsam gehender Insecten, so sah ich deutlich, dass jedesmal drei Extremitäten gleichzeitig vor- und auftreten, sie werden vorgesetzt und stützen, während die drei anderen durch Stemmung den Körper des Insects fortschieben. Zugleich treten nämlich der hinterste und vorderste Fuss der einen Seite und der Mittelfuss der andern Seite auf, im nächsten Moment werden die äussersten Füsse dieser Seite und der Mittelfuss jener Seite aufgesetzt; so dass bei zwei Schritten alle Füsse des Insects in Thätigkeit gewesen sind. Beim Gehen der Spinne, mit acht Füssen, scheinen jedesmal vier Extremitäten aufzutreten, während die vier anderen sich erheben; die Beobachtung ist hier viel schwieriger als bei den Insecten, doch scheint es, dass zwischen zwei aufgesetzten stützenden Füssen immer ein abtretender und sofort sich erhebender liegt. Ja selbst bei den Asseln mit 14 Füssen scheint eine ganz regelmässige Ordnung in der gleichzeitigen Action einer gewissen Anzahl Glieder stattzufinden, während die schnell ablaufende Action der Glieder den Gesammtausdruck einer wellenförmigen Bewegung darbietet.

Manche leichten Thiere, namentlich Insecten, sind mit Organen an den Füssen bewaffnet, die ihnen zum Festhalten an selbst glatten, senkrechten Flächen oder gar zum Haften an der Decke dienen. Home *philos. Transact.* 1824. *lect. on comp. anat.* 4. *T.* 81. Hieher gehören die Organe an den Sohlen der Fliegen, welche vielleicht in der Mitte eingezogen werden können und als Saugwerkzeuge dienen, und mehrere ähnliche Apparate bei anderen Insecten, die entweder eine innige Berührung und Adhäsion oder ein wirkliches Ansaugen vermitteln. Unter den Amphibien beobachten wir ein ähnliches Beispiel an den Gecko, deren Finger und Zehen an der Unterseite mit regelmässigen Querfalten (wie das Ansaugungsorgan am Kopfe der Echeneis) besetzt sind, durch deren Aufrichtung wahrscheinlich ein hohler Raum und das Anheften bewirkt wird. Diese Thiere sollen an senkrechten Flächen und selbst an der Decke hinlaufen können. Hier ist auch der Ort des Mechanismus zu erwähnen, durch welchen manche Thiere in einer Stelluug, die viele Muskelanstrengung zu erfordern scheint, sich mit Leichtigkeit erhalten können. Das Stehen der Thiere und des Menschen geschieht durch eine fortdauernde Anstrengung der Streckmuskeln; indess ist das Stehen bei einigen Thieren durch mechanische Vorrichtung sehr erleichtert und kann dann Tag und Nacht ohne Ermüdung geschehen. Die Störche und mehrere andere Vögel stehen oft unausgesetzt

auf einem Beine, schlafen sogar in dieser Stellung. Cuvier erwähnt bereits die eigenthümliche Bildung des Fussgelenks beim Storch, wodurch diess erzielt wird. In der Mitte der vordern Fläche des untern Endes des Unterschenkels befindet sich nämlich eine Grube, welche einen Vorsprung der Fusswurzel aufnehmen kann. Erst indem dieser Vorsprung, der bei der Streckung unter der Grube zwischen den Verlängerungen der Rolle des Unterschenkels liegt, in jene Vertiefung ausweicht, tritt das Fussgelenk in Beugung. Dieser Beugung wirken Bänder gleich Federn entgegen. Macartney in *Transactions of the Royal Irish Academy. XIII.* 20. Dieser Mechanismus, welcher das Stehen der langfüssigen Vögel erleichtert, ist indess von der Natur nicht überall angewandt worden, wo wir doch die Thiere zum langen Stehen auf einem Beine fähig sehen. So z. B. schlafen die Enten auf einem Beine stehend und haben jenen Mechanismus nicht. Diess überzeugt uns, dass im Schlafe selbst eine mit Erhaltung des Gleichgewichtes stattfindende Action der Streckmuskeln von der Provinz der Centralorgane, von welcher alle Ortsbewegungen ausgehen, beherrscht werden kann.

Das Festhalten der Füsse beim Sitzen auf denselben, wird denjenigen Vögeln, die in dieser Stellung schlafen, durch eine Einrichtung erleichtert, auf welche Borelli zuerst aufmerksam macht. Vicq d'Azyr hatte diese Erklärung in Zweifel gezogen. Cuvier hat sie und offenbar mit Recht in Schutz genommen. Die Sehnen der Zehenbeuger gehen nicht allein unter dem Fussgelenk hin und ziehen die Zehen bei der Beugung des Fussgelenks an, sondern sie können auch noch durch einen an der innern Seite des Schenkels liegenden accessorischen Muskel (Beimuskel der Zehenbeuger), dessen Sehne über das Knie weggeht, angezogen werden. Die Beugung beider Gelenke durch das Gewicht des Körpers, muss daher zugleich die Zehen beugen und das Festhalten der Füsse bewirken, wie denn selbst im Tode diese Wirkungen durch Beugen der Gelenke erfolgen.

Man kann an ein ähnliches Verhältniss anderer Muskeln beim Hunde erinnern. Wird der Schenkel des Hundes im Knie gestreckt, so wird zugleich der Gastrocnemius gespannt und die Ferse angezogen. Daher ein Hund selbst nach Durchschneidung des Nervus ischiadicus noch etwas auftreten kann, sobald die Streckmuskeln des Oberschenkels, die von der Durchschneidung jenes Nerven nicht betheiligt sind, den Unterschenkel strecken.

III. Abschnitt. Von der Stimme und Sprache.

I. Capitel. Von den allgemeinen Bedingungen der Tonerzeugung.

Die Ursache von der Stimme und Sprache angegebener Töne sind zwar an und für sich keine Muskelbewegungen, sondern die Schwingungen eines eigenthümlichen und einem musikalischen Instrumente vergleichbaren Werkzeuges; in sofern aber die zum Tonangeben nöthige Spannung des Instrumentes und die Höhe und Folge dieser Töne durch Muskelbewegungen bestimmt werden, gehört die Untersuchung der Stimme und Sprache zunächst unter den Abschnitt von den Bewegungen. Es ist zuerst nöthig, die allgemeinen Bedingungen der Tonerzeugung kennen zu lernen, ehe wir in die Untersuchung der menschlichen Stimme eingehen können.

Ein plötzlicher mechanischer Impuls auf das Gehörorgan kann eine Gehörempfindung hervorrufen, wie des Knalles, wenn die Einwirkung heftig war, oder des Geräusches, wenn sie schwach war. Das schnelle Ausströmen der comprimirten Luft, das schnelle Einströmen der Luft in einen luftverdünnten Raum bringen den Eindruck des Schalles auf das Gehörorgan hervor, wenn diese Erschütterung der Luft dem Gehörorgan mitgetheilt wird. Dass aber Töne von gleichbleibendem und vergleichbarem Werthe empfunden werden sollen, dazu ist nur eine gewisse Art des mechanischen Impulses hinreichend, nämlich eine schnelle Wiederholung des gleichen Impulses in sehr kurzer Zeit. Von der Häufigkeit dieser Impulse oder Stösse hängt die Empfindung der Tonhöhe ab. Die pendelartigen Schwingungen eines tönenden Körpers sind in den meisten Fällen, indem diese Schwingungen bis zum Innern des Gehörorgans und Gehörnerven geleitet werden, die Ursache zum Hören der Töne. Geht man von der Thatsache aus, dass die tönenden Körper elastisch sind, entweder durch Cohärenz, wie die steifen tönenden Körper, oder durch ihren Druck oder Expansionsstreben, wie die Gase, oder durch Spannung, wie die Saiten, und dass alle diese tönenden Körper beim Tonangeben schwingen, so liegt die Vorstellung nahe, dass die Schwingungen allein die wesentliche Ursache des Tönens sind. Man würde sich jedoch eine falsche Vorstellung von der Natur des Tons machen, wenn man glaubte, dass die pendelartige Bewegung oder die Schwingung, zuletzt dem Gehörnerven selbst mitgetheilt, zur Erzeugung der Tonempfindung in diesem Nerven nothwendig wäre. Es scheint vielmehr, dass auch bei den Tönen, die durch Schwingungen der tönenden Körper entstehen, die in Folge der Schwingung regelmässig sich wiederholenden Stösse, welche dem Hörnerven mitgetheilt werden, die nächste Ursache zur Tonempfindung sind. Diess ergiebt sich aus der Untersuchung derjenigen Töne, welche gar nicht durch Schwingungen eines elastischen Körpers, sondern durch blosse schnell aufeinanderfolgende Stösse entstehen. Wird ein Splitter Holz gegen die Zähne eines schnell umlaufenden Rades gehalten, so wird

jeder Stoss der Zähne als Impuls auf das Gehörorgan die Empfindung des Geräusches hervorbringen. Wird aber das Rad sehr schnell gedreht, dass die Stösse des Rades nicht mehr unterschieden werden, so wird statt der einzelnen Stösse ein Ton vernommen, dessen Höhe mit der Schnelligkeit der Stösse zunimmt. Von noch grösserm Interesse für die Kenntniss der wesentlichen Ursache der Tonerzeugung, als einer schnellen Folge von Stössen, sind die Töne, welche durch einen schnell mit Regelmässigkeit unterbrochenen Strom einer gasförmigen oder tropfbaren Flüssigkeit, wie Wasser oder Quecksilber, hervorgebracht werden können, um so mehr als die letzteren tropfbaren Flüssigkeiten unelastisch, wie sie sind, zur unmittelbaren Erzeugung der Töne durch pendelartige Schwingungen nicht geeignet sind. Diese Bedingungen finden sich in der von Cagniard la Tour erfundenen Sirene vereinigt. Der Strom einer Flüssigkeit aus einer Oeffnung wird hier während dem raschen Umlauf eines Rades durch jeden Zahn desselben augenblicklich aufgehalten. Befindet sich auch das schwingende Rad unter Wasser und hemmt es nur den Strom des von unten durch Druck zugeführten Wassers in regelmässigem schnellem Wechsel, so erzeugen die dadurch hervorgebrachten Stösse, wenn sie schnell genug auf einander folgen, einen klaren Ton, dessen Höhe mit der Schnelligkeit der Unterbrechungen oder Stösse zunimmt.

In Beziehung auf das menschliche Stimmorgan oder Tonwerkzeug interessiren uns näher diejenigen Körper, welche durch Schwingungen die nöthige Anzahl der schnell wiederholten Stösse, Pulsus, geben. Dieser Art der Tonerzeugung sind nur die elastischen Körper fähig. Ein Anstoss gegen einen Theil dieser Körper theilt sich dem Ganzen mit und versetzt den Körper in pendelartige Schwingungen; die durch die Schwingungen erzeugten Stösse theilen sich den berührenden Körpern mit und gelangen auf diese Art zum Gehörorgan.

Mit der Höhe der Töne nimmt die Zahl der Schwingungen zu. Der tiefste gebräuchliche Ton, das 32füssige *C* der Orgel, giebt z. B. 32 Schwingungen der Luft der Orgelpfeife in der Secunde, die Octave davon giebt 64 Schwingungen, die nächste Octave giebt 128 Schwingungen, die nächste oder das ungestrichene *c* giebt 256 Schwingungen in der Secunde. Da es gleich ist, ob die Stösse durch den Anstoss der Zähne eines Rades oder durch die Schwingungen eines Körpers erfolgen, so hat man jetzt in dem von Savart erfundenen Instrumente, wo die Töne durch die Stösse der Zähne eines Rades an einen Körper hervorgebracht werden, ein leichtes Mittel, die Zahl der Schwingungen für jeden Ton mit Bestimmtheit zu ermitteln.

Die Schwingungen eines tönenden Körpers können in seiner ganzen Ausdehnung stattfinden; er kann sich aber in Abschnitte theilen, die nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, während die Theilungsstellen, Schwingungsknoten, ruhig bleiben. An den Stellen der Schwingungsknoten bleiben aufgelegte Papierschnitzel ruhig. Die Schwingungen können auch in der Richtung verschieden seyn, transversale, longitudinale, oder drehende. Ein

Beispiel der Transversalschwingungen bildet eine zwischen zwei Puncten gespannte, hin und her nach den Seiten schwingende Saite oder ein an einem Ende befestigter Stab von Metall. Bei den longitudinalen Schwingungen der Luft, der Saiten und Stäbe, die man an beiden letzteren durch Reiben der Länge nach hervorbringt, schreitet ein Zusammendrücken und Ausdehnen von einem Theilchen des Körpers zum andern, bis zum Ende oder Schwingungsknoten fort und kehrt dann um. Drehende Schwingungen hat Chladni bloss an Stäben beobachtet.

Die durch Schwingungen tönenden Körper sind theils elastische Flüssigkeiten wie die Luft, theils durch Spannung elastische Körper, wie gespannte Saiten, theils an und für sich elastische feste Körper, wie Metallstäbe, Metall- und Glasscheiben. Die Gesetze, nach welchen die Tonschwingungen in diesen verschiedenen Classen der tönenden Körper erfolgen, sind für die zu ermittelnde Theorie der menschlichen Stimme von grosser Wichtigkeit. Wir wollen einen kurzen Blick auf dieselben werfen, um zu erkennen, zu welcher Classe der Tonwerkzeuge das menschliche Stimmorgan gehöre. Wir folgen hierbei zunächst vorzüglich den Untersuchungen von Chladni (*Akustik. Leipz.* 1802. 4.), Biot, Savart und W. Weber. Ueber diejenigen Tonwerke, welche die nächste Verwandtschaft mit dem menschlichen Stimmorgan haben, werden wir eigene Beobachtungen beibringen.

I. Feste elastische Körper.

Sie sind theils durch Spannung elastisch, wie die Saiten und Trommelfelle, theils an und für sich elastisch, wie Metallstäbe und Scheiben. Bei jeder dieser Arten fester elastischer Körper kommt bald nur die Dicke und Länge in Betracht, diess sind die fadenförmigen, bald mehrere Dimensionen, diess sind die membranenförmigen. Beispiele durch Spannung elastischer fadenförmiger Körper sind die Saiten, membranförmiger die Paukenfelle. Beispiele an und für sich elastischer fadenförmiger Körper sind die geraden oder gekrümmten Metallstäbe, membranenförmiger die geraden oder gekrümmten Scheiben, Glocken u. a. Chladni a. a. O. p. 64.

A. Durch Spannung elastische Körper.

a. Fadenförmige durch Spannung elastische Körper, Saiten. Mit der Kürze der Schwingungsbogen nimmt die Zahl der Schwingungen, wie beim Pendel mit der Kürze desselben zu, und mit der Zahl der Schwingungen die Höhe der Töne.

Schwingt eine gespannte Saite mit ihrer ganzen Länge, so giebt sie ihren tiefsten oder Grundton an, wird sie bei gleicher Spannung durch einen untergebrachten Steg in zwei gleiche Theile getheilt, und einer derselben angestossen, so ist der hervorgebrachte Ton die Octave des Grundtons, die noch einmal so viel Schwingungen als der Grundton hat. Wird $\frac{1}{4}$ der Seite bei gleicher Spannung isolirt und angesprochen, so giebt diese die zweite Octave des Grundtons, die viermal so viel Schwingungen als der Grundton hat. Ueberhaupt verhält sich bei gleich dicken und gleich gespannten Saiten von derselben Substanz die Menge der Schwingungen umgekehrt wie die Länge der Saiten. Bei gleich langen und un-

gleich gespannten Saiten verhalten sich die Schwingungsmomente wie die Quadratwurzeln aus den sie spannenden Kräften. Biot *Lehrb. d. Experimentalphys.* 2. 30.

Die Schwingungsmengen für die Töne zwischen dem Grundton und der ersten Octave werden erhalten bei gleicher Spannung durch Verkürzung der Saite auf die zwischen 2 und 1 liegenden Brüche. Wenn z. B. die Schwingungsmengen des Grundtons zu dem der Octave wie 1 zu 2 sich verhalten, so werden sich die Schwingungsmengen der Töne nach der allgemein angenommenen einfachen musicalischen Scala unsers heutigen Systems der Musik folgendermassen verhalten:

1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
c	*d*	*e*	*f*	*g*	*a*	*h*	*c*
Grundton		Terz		Quinte			Octave.

Eine Saite kann, während sie in ganzer Länge die dem Grundton eigenen Schwingungen macht, auch zugleich mit aliquoten Theilen schnelle auf einander folgende Schwingungen machen, die anderen Tönen, höher als der Grundton, entsprechen. In der That hört man beim Anschlagen einer einzigen und isolirten Saite, oder des Monochords, wo die Töne mitklingender anderer Saiten nicht in Betracht kommen, bei einiger Aufmerksamkeit ausser dem Grundton auch noch einige andere Töne, besonders solche, die in einfachen numerischen Verhältnissen zum Grundton stehen, z. B. die Quinte der Octave, die Terz der zweiten Octave.

Wird eine gespannte Saite am Ende von $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ u. s. w. ihrer Länge durch leise Berührung gedämpft und hier ein Schwingungsknoten bedingt, so entstehen beim Streichen derselben mit dem Violinbogen, auch zwischen den übrigen $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ Schwingungsknoten und die Saite giebt dann statt des Grundtons vielmehr den diesen Längen und ihren Schwingungsmengen entsprechenden höhern sogenannten Flageoletton.

Da bei den Saiten für tiefe Töne durch die geringere Spannung ersetzt werden kann, was ihnen an Länge gebricht, um nur eine geringere Zahl Schwingungen in einer bestimmten Zeit zu machen, so würden sich der Theorie nach auch auf einer sehr kurzen Saite noch alle Töne durch veränderte Spannung hervorbringen lassen. Indessen schwingen die Saiten, wenn sie sehr abgespannt sind, wegen Mangel an Elasticität zu unregelmässig, als dass sie sehr verkürzt und abgespannt noch einen tiefen Ton hervorbringen sollten. Dagegen werden sehr kurze Saiten, wenn sie auch im abgespannten Zustande nicht alle Elasticität verlieren, z. B. Saiten von Kautschuck noch zur Hervorbringung von tiefen Tönen geschickt seyn, und elastische Blätter, die in einer Richtung gespannt sind, können bei sehr bedeutender Kürze noch sehr reine Töne hervorbringen, wenn sie eine feine Spalte begrenzen und die an dem Blatte vorbeigepresste Luft das Blatt in Schwingung erhält. Davon bei den Zungenwerken.

b. Membranenförmige durch Spannung elastische Körper. Membranen, die bloss in einer Richtung gespannt sind, verändern ihre Töne nach den Gesetzen wie die Saiten. Das Gesetz, nach welchem die Schwingungsmengen nach der Grösse

und Spannung bei den allseitig gespannten Paukenfellen abhängen, ist noch nicht näher gekannt. Es ist bekannt, dass die Höhe des Tons im Allgemeinen mit zunehmender Spannung zunimmt. Eine nähere Kenntniss der Schwingungsart dieser Tonwerkzeuge würde für die Theorie der menschlichen Stimme von keinem Gewicht seyn. Die Stimmbänder stellen nach einer Richtung gespannte Membranen dar, ob aber bei ihrer Kleinheit durch sie allein ohne Mitwirkung der Luft klare Töne entstehen können, werden wir später untersuchen.

B. An und für sich elastische Körper.

a. Fadenförmige gerade und gebogene Stäbe. Die Schwingungen sind ähnlich wie bei den Saiten, und die Elasticität dieser Körper ersetzt die Spannung der Saiten, sie schwingen daher, sowohl an einem als beiden Enden befestigt. Dergleichen Metallstäbe oder Blätter werden durch Anschlagen zum Tönen gebracht; sind Blättchen von Metall oder Holz dünn genug, so können sie auch durch Luftstrom in Schwingung gesetzt werden, wenn nämlich die Luft zwischen der Platte und einem Rahmen, in welchem sie befestigt sind, durchgepresst wird. Diess sind die Zungen der Zungenwerke. Die an solchen Zungen allein hervorzubringenden Töne richten sich nach denselben Gesetzen, wie die an freien Stäben hervorgebrachten Töne. Wir werden darauf bei den Zungenwerken zurückkommen. Ein Beispiel einer einfachen, durch den Luftstrom in Schwingung gesetzten Zunge ohne Rohr bietet die Mundharmonica dar, deren Blättchen auch durch einen Blasebalg angesprochen werden können.

Die Höhe der Töne oder die Schwingungsmengen verändern sich bei den Stäben nach einer andern Regel als bei den Saiten. Die Höhe der Töne oder Zahl der Schwingungen steht nämlich in geradem Verhältniss mit der Dicke der Stäbe und in umgekehrtem Verhältniss mit den Quadraten der Länge der Stäbe.

b. Membranenförmige gerade und gebogene steife Körper, Scheiben, Glocken. Weder mit den fadenförmigen noch mit den membranenförmigen an sich elastischen Körpern hat das Stimmorgan einige Aehnlichkeit; daher wir diese Tonwerkzeuge sogleich verlassen können.

II. Elastische Flüssigkeiten. Luft.

Die Schwingungen der Luft beim Tönen bestehen in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, welche in den Flötenwerken in longitudinaler Richtung erfolgen. In den meisten Blaseinstrumenten ist die Luft das Tönende, indem sie der Länge des Instrumentes nach vor und wieder rückwärts in Schwingung geräth. Die Geschwindigkeit der Wellen oder Verdichtungen und Verdünnungen bleibt sich im Allgemeinen gleich, mag die Röhre weit oder enge seyn, und hängt bloss, wenigstens hauptsächlich, von der Länge der Wellen oder des zu durchlaufenden Raumes ab. Doch ist es eine Erfahrung der Orgelbauer, dass man die Röhren der Flötenwerke etwas verkürzen muss, wenn sie bei grösserer Weite denselben Ton behalten sollen, und Savart hat

gefunden, dass die Luftsäule in weichen elastischen Röhren bei gleicher Länge viel tiefer tönt, als in festen Röhren. Bei Erschlaffung der Wände durch Wasserdämpfe kann ihr Ton sogar um zwei Octaven von ihrer sonstigen Tonhöhe sinken.

Flötenwerke. Das Princip einer Pfeife liegt darin, dass eine in einer Röhre enthaltene Luftsäule in Schwingungen versetzt wird, durch Blasen über einen Theil ihrer Oberfläche. Am einfachsten geschieht dieser Anspruch beim Wegblasen über die Mündung einer Röhre, eines Schlüssels; ganz ähnlich ist der Anspruch der Flöte, nur wird hier die Luftsäule nicht an ihrem Ende, sondern vor diesem an der Seite in Schwingung gesetzt. Bei den Pfeifen wird die Luft durch einen engen Kanal des Mundstücks geblasen, und indem sie an der Seitenöffnung heraustritt, setzt sie zugleich die im Rohr der Pfeife enthaltene Luftsäule in schwingende Bewegung. Eine ähnliche Construction haben die cylindrischen oder vierkantigen Orgelpfeifen, die zu dem Flötenwerke der Orgel gehören und auch Labialpfeifen genannt werden. Nur die Luft tönt in diesen Werken. Pfeifen von gleicher Länge, von Holz, Metall, Pappe, geben dieselbe Tonhöhe bei verschiedenem Klange. Ist die Luftsäule einmal durch Einblasen über ihre Oberfläche in schwingende Bewegung gesetzt, so muss der Strom der Luft fortdauern, um die zum Hören nöthigen Schwingungen zu erhalten. Bei diesen Werken findet übrigens niemals eine Strömung der Luft durch die Röhre, sondern nur die Schwingung der Luft im Innern der Röhre statt, daher die Flötenwerke auch an ihrem Ende verschlossen seyn können. Die einfachste Schwingungsart der Luft in den Pfeifen mit geschlossenem Ende ist diejenige, wo die Länge der Wellen der Länge der Röhre gleich ist und keine Schwingungsknoten im Innern der Röhre entstehen. Der geschlossene Boden der Röhre ist hier der Schwingungsknoten. Ist die Röhre an ihrem Ende offen, so giebt sie, bei gleicher Länge mit einer geschlossenen (gedeckten) einen um eine Octave höhern Grundton als diese und es befindet sich in der Mitte der Röhre ein Schwingungsknoten. Ueber die Theorie dieses Unterschiedes der gedeckten und offenen Orgelpfeifen siehe Biot *Lehrb. d. Experimentalphysik, übers. v.* Fechner. 2. 100.

Die Höhe der Töne ändert sich im Uebrigen im directen Verhältniss mit der Länge einer gedeckten oder offenen Röhre; indess giebt dieselbe Luftsäule höhere Töne bei stärkerm Blasen; durch Entstehung von Schwingungsknoten in der Länge der Luftsäule. Biot und Hamel haben gezeigt, wie die Stärke des Anspruchs auf die Vermehrung der Schwingungsknoten Einfluss hat. Die Töne, welche sich auf diese Weise aus einer gedeckten Röhre hervorbringen liessen, waren

C	*g*	$\bar{e}$	$\bar{ais}$ +	$\bar{\bar{d}}$	$\bar{\bar{fis}}$ —	$\bar{\bar{as}}$ +	$\bar{\bar{h}}$
1	3	5	7	9	11	13	15

deren Schwingungsmengen der Reihe der ungeraden Zahlen entsprechen. Bei einer am Ende offenen Röhre waren die durch stärkeres Blasen und Vermehrung der Schwingungsknoten zu erzeugenden Töne dagegen der einfachen Reihe der natürlichen

Zahlen entsprechend = 1, 2, 3, 4, 5, 6 u. s. w. Nur beim schwachen Anblasen erhielten sie den Grundton einer Glasröhre von 1 Zoll Durchmesser und 37 Zoll Länge, $\bar{g}$. Die Töne, welche sie durch Veränderung des Anblasens erhielten, waren

$\bar{g}$	$\bar{\bar{g}}$	$\bar{\bar{\bar{d}}}$	$\bar{\bar{\bar{g}}}$	$\bar{\bar{\bar{h}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{d}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{f}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{g}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{d}}}}$	, Töne.
1	2	3	4	5	6	$7\frac{1}{3}$	8	$10\frac{2}{3}$	12	

Die Töne, die auf einer offenen Röhre durch verschiedenes Blasen hervorgebracht werden können, liegen, wie man aus dieser Reihe sieht, um so weiter auseinander, je näher sie dem Grundton sind; mit zunehmender Höhe rücken die Töne zusammen. Zwischen dem Grundton 1 und der ersten Octave, welche der Zahl 2 entspricht, liegt kein Ton dazwischen. Zwischen der ersten Octave 2 und der zweiten Octave, deren Schwingungsmenge 4 ist, liegt schon ein Ton. Zwischen der zweiten Octave 4 und der dritten Octave, deren Schwingungsmenge 8 ist, liegen schon 3 Töne, u. s. w.

Die vorhererwähnten Gesetze gelten im Allgemeinen nicht bloss für die atmosphärische Luft, sondern für die Gase überhaupt; doch ist zu bemerken, dass die Grundtöne der Luftsäulen nach der Schwere und Dichtigkeit der Luft verschieden sind, denn nach der Erfahrung der Orgelbauer selbst eine lange wie in den Händen gehaltene Pfeife ihren Grundton schon ein wenig modificirt. Die Töne verhalten sich der Theorie nach bei gleichen Längen umgekehrt, wie die Quadratwurzeln der Dichtigkeit der Gasarten bei gleichem Druck und Temperatur. Die Erfahrung weicht etwas ab. Siehe Biot a. a. O. 107.

Von einigem Einfluss auf die Veränderung des Grundtons ist auch die Embouchure der Röhre, wie Biot und Hamel gezeigt haben. Letztere wandten eine 4 Fuss lange, vierkantige, 4 Zoll breite, an einem Ende verschlossene Pfeife an. Die Oeffnung nahm die ganze Breite ein und konnte durch einen Schieber von oben verlängert werden.

Die erzeugten Töne waren folgende:

Grösse der Oeffnung:	66,0	36,5	26,0	20,5	16,5	14,0	3,8
Erzeugte Töne: . .	c	$\bar{g}$	$\bar{\bar{e}}$	$\bar{\bar{h}}$	$\bar{\bar{\bar{d}}}$	$\bar{\bar{\bar{f}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{f}}}}$.

66,00 Theile der Oeffnung machen einen Quadratzoll aus. Die erzeugten Töne entsprechen den Zahlen oder Schwingungsmengen 1, 3, 5, 7, 9, 11, 43. Der Erfolg der Verengerung der Embouchure ist also bei der gedeckten Flöte derselbe, wie der durch Veränderung des Blasens bewirkte; auf diese Art sind also keine Octaven zu erhalten.

Der Einfluss der Embouchure auf den Ton der Pfeife scheint mir aus den Erfahrungen noch nicht ganz aufgeklärt zu seyn. Es giebt nämlich eine Art der Bedeckung der Embouchure, wodurch man den Ton der Pfeife ziemlich bedeutend tiefer machen kann. Lege ich über die obere Lippe einer cylindrischen, messingenen Labialpfeife eine Karte fest an, so dass ein Theil der Oeffnung bedeckt wird, so kann ich den Ton um mehr als einen Ton unter

den Grundton erniedrigen; bedecke ich aber die Oeffnung durch eine auf die obere Lippe angedrückte Karte so, dass die Karte dachförmig über die Oeffnung liegt, so lässt sich der Ton noch viel tiefer machen und um so tiefer, je mehr die dachförmige Karte gegen die Oeffnung niedergedrückt wird. Die Töne, die sich auf diese Art erhalten lassen, sind alle beliebigen nächsten unter dem Grundton der Pfeife bis auf einige ganze Töne, also keineswegs die mit den Zahlen 1, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{7}$ übereinstimmenden Töne. Stiess ich den Stempel der Pfeife so tief ein, dass das Rohr der Pfeife nur zwei Zoll betrug, so konnte der Grundton der zwei Zoll langen Pfeife durch dachförmige Bedeckung der Embouchure von *d* bis zu dem nächsten tiefern *gis*, also fast um eine Quinte herabgedrückt werden, und die dazwischen liegenden Töne entstanden leicht je nach der grössern oder geringern Neigung des über die Embouchure gebildeten Daches. Auch bei einer vierkantigen einfüssigen Pfeife liess sich der Ton durch dachförmige Bedeckung der Embouchure herabdrücken.

Alles bisher Bemerkte gilt von Röhren ohne Seitenlöcher; die eigentlichen Flöten lassen sich aber darnach beurtheilen; es sind ungedeckte Röhren, auf welchen man, wenn alle Seitenlöcher geschlossen sind, durch verschiedene Stärke des Anblasens die mit den Schwingungsmengen 1, 2, 3, 4, 5 übereinstimmenden Töne hervorbringen kann. Durch successive Oeffnung der Seitenlöcher lassen sich auch die dazwischen liegenden Töne hervorbringen. Die Oeffnung jeder derselben führt eine Erhöhung des Grundtons herbei, und diese Erhöhung ist verschieden nach der verschiedenen Grösse der Seitenlöcher und ihrer Entfernung vom Anfang des Instrumentes. Siehe das Nähere über die Theorie der Flötenwerke in Biot, *Lehrb. d. Experimentalphysik*, übers. v. Fechner, von 87—112., und Muncke, Artikel Schall in Gehler's *physikal. Wörterb.* 8. *Bd. p.* 349—360.

Es entsteht zuletzt die Frage, ob sich durch Anwendung der verschiedenen Mittel, durch welche sich der Grundton einer Pfeife von gegebener Länge herabdrücken lässt, so tiefe Töne hervorbringen lassen, dass selbst eine Röhre von sehr geringer Länge noch Töne von einiger Tiefe bei sehr schwachem Anblasen hervorbringen könne. Ist eine Röhre theilweise geschlossen, so nähert sie sich einer gedeckten, deren Grundton um eine ganze Octave tiefer ist, und durch eine Bedachung der Embouchure lässt sich der Ton, wie wir früher sahen, fast um eine Quinte herabdrücken. Die Schwäche des Anblasens macht den Ton einer gewöhnlichen Pfeife nicht tiefer, als bis zu dem sogenannten Grundton; vielleicht giebt es aber Mittel, bei deren Anwendung ein noch schwächeres Anblasen noch langsamere Schwingungen mit solcher Regelmässigkeit erfolgen lässt, dass diese Schwingungen als Töne gehört werden. Ein bei den Jägern übliches Pfeifchen, das zwischen den Lippen angeblasen, ihnen zum Nachmachen der Stimmen der Vögel dient, scheint dieses zu leisten, obgleich die Mittel hier ganz andere sind als die bei den gewöhnlichen Pfeifen anzuwendenden, um tiefere Töne zu erzeugen. Diese Pfeife

von Elfenbein oder Messing ist breiter als lang, nämlich 4 Linien lang, 8—9 Linien breit. Ihr vorderes und hinteres Ende sind durch eine dünne Platte gedeckt, in deren Mitte eine Oeffnung sich befindet, durch welche die Luft strömt, so dass der Luftstrom durch die Achse der Höhle der Pfeife durchgeht. Savart hat diese Art von Pfeifen untersucht. Magendie, *J. de physiol. V.* 367. Nach ihm entsteht der Ton in diesen Pfeifen dadurch, dass der Luftstrom, der durch die beiden Oeffnungen durchgeht, indem er die kleine Masse der in der Höhle der Pfeife enthaltenen Luft mit sich fortreisst, ihre Elasticität vermindert und sie unfähig macht, dem Druck der atmosphärischen Luft das Gleichgewicht zu halten, die, indem sie gegen jene zurückwirkt, sie zurücktreibt und zusammendrückt, bis wieder eine neue Verdünnung erfolgt. An diesem Instrument kann man durch verschiedene Stärke des Anblasens die Töne in einem Umfang von $\frac{1}{2}$—2 Octaven, von *c* 6—*c* 4 variiren; durch Uebung im Beherrschen des Luftstroms lässt sich die Tiefe und Höhe der Töne noch viel weiweiter treiben. Man kann das Volum des Instrumentes verdoppeln, vervierfachen oder verkleinern, ohne dass die Resultate auffallend variiren. Bei grösseren Dimensionen und dünneren Wänden ist es leichter tiefere Töne zu erhalten; doch hat jedes Instrument einen Ton, den es am leichtesten giebt. Die Direction der Ränder der Oeffnung ändert den Ton. Sind sie nach einwärts schief gegen das Innere der Höhlung gerichtet, so sind die Töne im Allgemeinen tiefer. Die Grösse der Oeffnungen des Instrumentes hat auf den Ton Einfluss; die Töne sind tiefer, wenn die Oeffnungen weiter sind. Eine Theorie der Schwingungen für dieses Instrument ist noch nicht vorhanden; es ist auch noch nicht ausgemacht, ob die Luft wirklich das primitiv schwingende ist und ob das Instrument nicht vielmehr in die Categorie der Zungen gehört, von denen weiter unter gehandelt wird. Bei den gewöhnlichen Zungen kommen zwei Dimensionen, die Dicke und Länge des Zungenblättchens, in Betracht; wenn eine der durchlöcherten Platten als Zunge wirkt, so würde sie eine Zunge darstellen, wobei wie bei den tönenden Scheiben drei Dimensionen, die der Länge, Dicke, Breite, in Betracht kommen. Das Instrument kann übrigens, wie eine Zunge, mit einer Ansatzröhre verbunden werden, und die dadurch hervorzurufenden Töne verhalten sich wie bei der Verbindung wirklicher Zungen mit Röhren. Nämlich der Ton ist dann nicht der der Zunge, sondern einer der möglichen Töne des Rohrs, der dem Zungenton am nächsten ist. Die Folge der Töne bei verschiedenem Anblasen ist bei jeder Combination der Jägerpfeife mit einem Rohr, wie bei einer offenen Pfeife, 1, 2, 3, 4, 5 u. s. w.

III. Tonwerke, bei denen die Eigenschaften der festen und flüssigen elastischen Körper zugleich in Betracht kommen. Zungenwerke.

Es giebt Tonwerkzeuge, die aus einer einfachen schwingenden Zunge bestehen, welche durch Strömung comprimirter Luft in Bewegung gesetzt wird, wie das Metallblättchen der Maultrommel und die Blättchen oder Zungen der Mundharmonica.

Die Erfahrung lehrt, dass nicht bloss die durch Cohärenz elastischen Körper, wie Metalle und Holz, Zungenblättchen bilden können. Man kann diesen Platten auch durch Spannung elastische Platten oder Membranen substituiren, wie sich im Folgenden zeigen wird. Auch diese membranösen Zungen geben, durch einen Strom comprimirter Luft in Bewegung gesetzt, ohne eine Ansatzröhre reine Töne von sich, so gut wie die Zungen der Maultrommel und der Mundharmonica es thun. Durch Ansatz einer Röhre vor den Zungen der ersten und zweiten Art entsteht ein complicirteres Instrument, bei welchem die Luft der Röhre zur Modification der Schwingungen der Zunge mitwirkt. Instrumente dieser Art mit festen Zungen von Metall oder Holz sind längst unter dem Namen der Zungenwerke bekannt; die Orgel besitzt ein ganzes Register dieser Apparate unter dem Namen der Zungenwerke oder Rohrwerke. Eine Classe von anderen Blasinstrumenten ist nach demselben Princip gebildet, wie die Clarinette, die Hoboe, das Fagot, der Serpent, die Schalmey, welche sämmtlich ausser der Röhre eine Zunge enthalten und dadurch sich von den Flötenwerken, bei welchen der Ton lediglich durch die Luftsäule erzeugt und durch ihre Länge verändert wird, unterscheiden. Aber auch das, was wir membranöse Zunge nennen, kann mit einer Röhre verbunden zu einem ähnlichen, von einer einfachen Zunge verschiedenen Werke werden, wie wir bald sehen werden. Die Theorie dieser Instrumente ist für die Untersuchung der menschlichen Stimme von der grössten Wichtigkeit.

Erste Classe der Zungenwerke.

Zungenwerke mit einer Zunge von einem steif elastischen Körper: Metall, Holz.

A. Zungen nach Analogie der Stäbe.

a. Einfache Zungen ohne Rohr.

Die einfachste Zunge dieser Art ist die Maultrommel, wo ein zwischen zwei stählernen Schenkeln liegendes, an einem Ende befestigtes, ebenfalls stählernes Zungenblättchen durch die zwischen der Zunge und den Schenkeln durchgetriebene Luft in Bewegung gesetzt wird. Die Mundharmonica stellt eine Zusammenstellung mehrerer Zungen in demselben Rahmen dar. Sie besteht bekanntlich aus einer kleinen Metallplatte, worin längliche rectanguläre Löcher, jedes zur Aufnahme seines Zungenblättchens, eingeschnitten sind. In diese Oeffnungen passen dünne Plättchen von Metall, die an dem einen Ende angelöthet sind. Sie müssen so in ihrem Rahmen vibriren können, dass sie denselben nicht berühren, und werden in Schwingung gesetzt dadurch, dass man die Platte oder den gemeinsamen Rahmen gegen die Lippen andrückt und die Luft gegen die Zungen bläst, wodurch ein klarer Ton, nach der Länge und Stärke der Zunge verschieden, entsteht.

Die sogenannten Mundstücke (anche) beruhen auf demselben Mechanismus. Ein messingener oder stählerner hohler Halbcylinder ist an seinem einen Ende offen, an dem andern geschlossen;

die flache Seite bildet gegen das geschlossene Ende eine elastische Platte, die den Halbcylinder an diesem Theil der flachen Seite nicht ganz schliesst und selbst in die Höhle des Halbcylinders hinein schwingen kann; so kann die Luft zwischen den Rändern der Platte und der Lade in die Höhle des Halbcylinders eindringen oder aus demselben ausdringen. Es ist hier, wie bei der Maultrommel und Mundharmonika ein Rahmen und eine darin passende, bewegliche, elastische Zunge gegeben. Von den letztgenannten Instrumenten unterscheidet sich diese Art von Mundstück nur, dass der Rahmen hier zugleich ein Rohr bildet, aus welchem die Luft, die zwischen Rahmen und Zunge durchgegangen, ausströmt, oder von welchem aus auch die Luft gegen die Zunge getrieben werden kann. Ein solches Mundstück kann von der einen oder andern Seite angeblasen werden. Nimmt man das Ende, woran die Zunge, in den Mund und bläst, so dass die Zunge im Munde frei schwingen kann, so drängt sich die Luft mit Unterbrechungen zwischen der Zunge und dem Rahmen in den Halbcylinder. Bläst man von dem offenen Ende her, so dringt sie zwischen der Zunge und ihrem Rahmen aus. Man sieht hier wieder deutlich, dass die Hauptsache eines Zungenstücks nur dieses selbst, und ihr Rahmen, wie bei der Maultrommel, das Uebrige aber Zugabe ist. Eine so gebaute Zunge kann auch mittelst eines Pfropfes, durch den sie durchgeht, wie bei den Zungenpfeifen der Orgel, in einen hohlen Cylinder gesetzt werden, durch dessen eine Oeffnung die Luft zugeblasen wird.

Die Art, wie die Zunge in Schwingung gesetzt wird, scheint mir bisher nicht genügend erklärt, wie auch Fechner bemerkt; sie ist meines Erachtens diese: So wie man bläst, wird die Zunge aus der Oeffnung des Rahmens getrieben. *Sie entfernt sich nach dem Gesetze der Trägheit von dem stossenden Körper,* bis die Elasticität der Zunge, die im Maass ihrer Beugung wächst, ihrer Geschwindigkeit das Gleichgewicht hält. Da der Druck der Luft indess fortdauert, so würde die Zunge bei anhaltendem Blasen in dieser Lage verharren; indess ist der Druck der Luft bei abgewendeter Zunge viel geringer als vorher, da die Zunge noch im Rahmen stand, die Zunge wird also durch ihre Elasticität, wie ein Pendel, zurückgehen, sie würde sogar bei der anhaltend wirkenden Elasticität mit beschleunigter Geschwindigkeit zurückgehen, wenn der anhaltende Druck der Luft sie nicht etwas retardirte. Im Rahmen angelangt treibt sie der nun wieder stärkere Druck der Luft wieder ab. Wäre kein Unterschied in dem Druck der Luft, so würde die Zunge durch den Druck der Luft in gleicher Lage beständig erhalten werden, in derjenigen Lage, welche ihr Widerstand zulässt. Nicht bloss der eingeschlossene, auch der freie Strom der Luft kann eine Zunge in Bewegung setzen, wenn sie fein genug ist, wie z. B. die zarten Zungen in der Mundharmonica, und wenn der Strom der Luft stark ist. Bläst man z. B. mittelst eines feinen Röhrchens von feiner Mündung frei gegen eine Zunge der Mundharmonica, aber heftig, so geräth sie in Schwingung; ja es ist mir sogar einigemal gelungen, eine ohne Rahmen befestigte feine Zunge durch

den freien Strom der Luft aus einem feinen Röhrchen zum Tönen zu bringen. Diess gelingt nur an den sehr dünnen und längsten Zungen der Mundharmonica. Die längste Zunge einer Mundharmonica isolirte ich von ihrem Rahmen, so dass sie ganz frei war bis auf ihr hinteres befestigtes Ende. Ich blies mittelst des feinen Röhrchens am Ende eines ihrer Ränder stark vorbei; blies ich sehr stark in senkrechter Richtung auf die Oberfläche der Zunge, aber nicht auf ihre Fläche, sondern auf ihren Rand, so gelang es mir einigemal, die tönende Schwingung des Blättchens hervorzubringen, die aber sehr viel schwächer ist, als wenn die Luft zwischen den Rändern derselben Zunge und einem Rahmen hindurchströmen muss. Die später hier zu beschreibenden membranösen Zungen gerathen dagegen beim Anblasen mittelst eines Röhrchens in ganz vollkommene Schwingung mit vollem Klang. Die Art, wie durch den freien Strom der Luft eine leicht bewegliche Zunge in Schwingung gesetzt werden kann, scheint mir folgende zu sein: Der Strom der comprimirten Luft gegen den Rand der freien Zunge treibt diese vor sich hin, die Zunge entfernt sich vermöge des Gesetzes der Trägheit von dem stossenden Strom, gelangt aus der Direction des Stroms heraus, und geht so weit, bis die mit der Dehnung der Zunge wachsende Elasticität derselben ihrer Geschwindigkeit das Gleichgewicht hält. Sie geht nun vermöge der Elasticität und zwar, da diese fortdauernd wirkt, mit beschleunigter Geschwindigkeit zurück, bis sie wieder in den Strom kömmt, welcher sie wieder abtreibt. Die Möglichkeit, an einem ganz frei stehenden Zungenblättchen durch den Strom der Luft einen Ton hervorzubringen, beweist deutlich, dass man bei der Erklärung des Tönens der Zungen nicht zu viel Gewicht auf den gewöhnlichen Bau derselben und auf den Durchgang der Luft zwischen Zunge und Rahmen legen darf.

Ueber die Natur der Töne, welche auf den Zungenstücken erzeugt werden, hat W. Weber Aufschlüsse gegeben. „Leges oscillationis oriundae si duo corpora diversa celeritate oscillantia ita conjunguntur, ut oscillare non possint nisi simul et synchronice, exemplo illustratae tuborum linguatorum." Auszug von Chladni in Kastner's *Archiv* X. 443. Im Auszug ebenfalls in Muncke's Aufsatz über den Schall, in Gehler's *physik. Wörterb.* VIII. und. Fechner's Bearbeitung von Biot's *Experimental-Physik* 2. 112. Vergl. Weber in Poggend. *Annalen.* XVII. 193. Weber zeigte, dass der Ton der Zunge eines Mundstücks, die durch Anblasen in Schwingung versetzt wird, sich nach denselben Gesetzen mit ihrer Länge ändert, als wenn die Zunge ohne Anblasen durch Anstossen oder Zerren in Schwingung versetzt wird, und zwar schwingen die Zungen nach demselben Gesetz wie die klingenden Stäbe. Diess Gesetz ist, dass die Schwingungsmengen zweier Stäbe von gleicher Dicke und gleichem Stoff, sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Längen verhalten. Weber zeigte ferner, dass der beim Anblasen des Mundstücks ohne Ansatzröhre erzeugte Ton auch in der Höhe ganz mit dem Ton überein kommt, den die Zunge ohne Anblasen durch Anstoss hervorbringt. Dann ist

die Höhe des Tons eines Mundstücks ziemlich unabhängig von der Stärke des Luftstroms; die Stärke des Tons kann durch die Stärke des Anblasens vermehrt werden. Biot hatte schon gezeigt, dass die chemische Beschaffenheit der Gasart, welche zum Anblasen benutzt wird, keinen Einfluss auf die Höhe des Tons hat. Diess Verhalten der metallenen oder festen Zungen ist um so merkwürdiger, als, wie ich gefunden, die membranösen Zungen sich ganz anders verhalten, indem die Höhe des Tons sich bei diesen um einige halbe Töne durch stärkeres Anblasen erheben lässt.

Die Dimensionen des Schlitzes zwischen Zunge und Rahmen sind nach W. Weber von geringerer Wichtigkeit. Sind die Dimensionen der Oeffnung etwas stärker, so spricht der Ton schwerer an, und kann schwerer verstärkt und geschwächt werden. Die Höhe des Tones aber bleibt sich gleich.

Die von den Meisten angenommene Theorie der durch Zungen hervorgebrachten Töne ist folgende. Die Schwingungen der Zungen richten sich zwar, wie es scheint, ganz nach den Gesetzen, nach welchen die Stäbe schwingen und Töne geben; aber zwischen den tönenden Stäben und tönenden Zungen findet der Unterschied statt, dass bei den ersteren der Stab, bei den letzteren die Luft das eigentlich Tönende ist. Und derselbe Unterschied findet statt, wenn eine Zunge durch Anstoss oder durch Anblasen in Schwingung versetzt wird. Im erstern Fall nämlich ist es die Zunge allein, welche tönt, im zweiten wird zwar auch die Zunge tönen müssen, aber für die Hauptursache des eigenthümlichen Tons halten Viele die Luft selbst und zwar aus folgenden Gründen.

Der Ton einer durch Anstoss in Schwingung versetzten Zunge ist schwach; der Ton der Zunge beim Anblasen stark; aber auch ein qualitativer Unterschied der Töne findet statt; der Klang der Zunge beim Anstossen ist ein ganz verschiedener vom Klang der Zunge, welchen sie beim Anblasen hervorbringt. Daraus schliesst man, dass die Luft, wenn sie auch bei verschiedener Weite des Schlitzes die Höhe des Tons nicht modificiren kann, doch einen wesentlichen Einfluss auf die Erzeugung der durch Zungen hervorgebrachten Töne haben muss, indem die Luft unter den Bedingungen, unter welchen Zungen beim Anblasen schwingen, regelmässig gestossen wird, ohne selbst Schwingungsknoten zu bilden. Man weiss, dass zur Erzeugung eines Tones nur eine gewisse Anzahl Stösse, pulsus, nöthig sind, welche auf das Gehörorgan fortgepflanzt werden, und dass auch die Schwingungen nur dadurch Töne hervorbringen, weil sie pulsus hervorbringen. Bei der Art, wie eine Zunge in ihrem Rahmen schwingt, müssen nun, sagt man, ähnliche pulsus, wie bei der Sirene entstehen; indem die Luft bei jeder Schwingung der Zunge durch die Oeffnung einen Moment aufgehalten wird. Ganz unter denselben Bedingungen sehen wir durch schnell aufeinander folgende Unterbrechungen des Stroms der Luft bei der Sirene einen Ton entstehen. Die Höhe dieses Tons der Luft hängt von der Zahl der Unterbrechungen ab, und diese Zahl wird, da die Unterbrechungen von den Schwingungen des Zungenblättchens bewirkt werden, mit

der Zahl der Schwingungen des Blättchens gleich seyn. Diese Theorie der Zungentöne ist indess keineswegs als erwiesen anzunehmen. Schon die Töne, die sich durch einen Luftstrom an einer von ihrem Rahmen entblössten, befestigten, hinlänglich langen und dünnen Zunge der Mundharmonica durch freien starken Strom der Luft aus einem dünnen Röhrchen hervorbringen lassen, beweisen, dass die Zungentöne keineswegs allein von den pulsus der Luft abhängen, obgleich der heftige Strom der Luft aus dem dünnen Röhrchen gegen den Rand des Zungenblättchens bei jeder Rückschwingung des Blättchens etwas aufgehalten werden muss, während der Strom frei ist zur Zeit, wo das Blättchen ausser dem Strom der Luft schwingt. Wir regen diesen Zweifel vorläufig an und werden später nach Abhandlung der membranösen Zungen ausführlicher darauf zurückkommen.

b. Zungen mit einem den Ton modificirenden Rohr.

Der Ton eines Mundstücks oder einer Zunge wird sehr in der Höhe verändert, wenn das Mundstück mit einer Ansatzröhre verbunden wird, wie es bei der Hoboe, der Clarinette, dem Fagot der Fall ist. In diesem Fall muss die Luft statt in die Atmosphäre auszulaufen, vielmehr erst die Ansatzröhre durchlaufen, und das Instrument ist zusammengesetzt aus zweien, die nach verschiedenen Gesetzen schwingen. Der Ton des Mundstücks für sich und der Ton der Pfeife für sich können ganz verschieden seyn; sind aber Mundstück und Pfeife verbunden, so wirken sie gegenseitig aufeinander ein, d. h. accommodiren sich, so dass die Schwingungen der Zunge durch die Schwingungen der Luftsäule, die Schwingungen der Luftsäule durch die der Zunge bestimmt werden. Immer wird nur ein Ton gehört, und dieser ist weder constant derjenige, den das Zungenstück für sich allein, noch derjenige, den die Luftsäule des Rohrs für sich allein geben würde. Es muss also nicht bloss vollkommene Gleichzeitigkeit in beiderlei Schwingungen stattfinden, sondern auch beide sich einander accommodiren.

W. Weber (Poggend. *Ann.* XVI. XVII.) hat sich mit dem Problem beschäftigt, nach welchen Bedingungen sich dieser einfache Ton richtet. Einen sehr ausführlichen Auszug dieser classischen Untersuchungen hat Fechner in seinem *Repertorium der Experimentalphysik. I.* 314—334. gegeben.

Eine sichere Theorie der Zungenpfeifen verdankt man ganz nur den Forschungen des berühmten deutschen Physikers.

Es ist hier nicht der Ort, die Resultate dieser Arbeiten, welche zu den wichtigsten der neuern Physik gehören, ausführlich mitzutheilen. Einige der von Weber entdeckten Thatsachen müssen indess hier angeführt werden, da sie die Grundlage bilden für die Untersuchungen über die Zungenpfeifen mit membranösen Zungen, mit welchen das Stimmorgan die meiste Aehnlichkeit hat.

1. Die Verbindung einer Röhre mit einem Mundstück kann den Ton des Mundstücks vertiefen, nicht erhöhen.
2. Diese Vertiefung beträgt im Maximum nur eine Octave.
3. Bei weiterer Verlängerung der Röhre springt der Ton

wieder auf den ursprünglichen Grundton des Mundstücks zurück, und dieser lässt sich nun auch wieder nur um ein Gewisses vertiefen.

4. Die Länge der Ansatzröhre, die nöthig ist, um eine gewisse Vertiefung zu erhalten, hängt jedesmal von dem Verhältniss der Schwingungszahlen der Zunge für sich und der Luftsäule für sich ab.

5. So vertieft sich der Ton der Zungenpfeife allmählig mit Verlängerung der Ansatzröhre, bis die Luftsäule der Röhre so lang geworden ist, dass sie für sich allein denselben Ton geben würde, als das Mundstück allein. Bei weiterer Verlängerung springt der Ton auf den Grundton des Mundstücks zurück; von da an kann er wieder durch Verlängerung der Röhre um eine Quarte vertieft werden, bis die Länge der Röhre das Doppelte beträgt von der Länge der Luftsäule, die denselben Ton als das Mundstück haben würde. Hier springt der Ton wieder auf den Grundton des Mundstücks zurück. Von da an ist wieder eine Vertiefung um eine kleine Terz möglich durch Verlängerung der Röhre, bis der Ton wieder auf den Grundton der Zunge überspringt. Im Uebergange können je nach der Kraft des Anblasens zwei verschiedene Töne hervorgebracht werden. (Diese Entdeckungen lassen sich, wie wir hernach versuchen werden, sehr gut auf die Zungenpfeifen mit membranösen Zungen anwenden.)

6. Liegt der Ton des für sich tönenden Mundstücks in der Reihe der harmonischen Töne der für sich tönenden offenen Röhre, so ändert sich der Ton des Mundstücks nicht nothwendig durch Verbindung mit der Röhre bei schwachem Blasen. Durch starkes Blasen kann aber dann der Ton entweder um eine Octave, oder Quarte, oder kleine Terz, oder um andere Intervalle, welche den Zahlen $\frac{7}{8}$, $\frac{9}{10}$, $\frac{11}{12}$ entsprechen, unter den Ton des Mundstücks erniedrigt werden.

Für die Vergleichung der Stimmorgane oder anderer Tonwerkzeuge mit Labialpfeifen und Zungenpfeifen ergeben sich aus diesen Entdeckungen die sicheren, leitenden Kennzeichen. Würde z. B. an einem Blaseinstrument bei gleichem Anspruch durch angesetzte Röhren jede beliebige Vertiefung erreicht werden können, und zwar im Verhältniss der Länge der Röhren, so würde das Instrument entschieden eine Labialpfeife seyn und die Luft allein darin tönen; würden hingegen bei unveränderter Embouchure die Röhren nur eine Vertiefung von einer Octave oder weniger zu Stande bringen können, so würde man es mit einer Zungenpfeife zu thun haben.

Unter die Instrumente mit Zungen gehören die Zungenpfeifen der Orgel, oder das Register der Vox humana der Orgel. Die Clarinette, Hoboe, Fagot sind auch Zungenwerke, und hier geschieht die Erzeugung verschiedener Töne beim Schliessen oder Oeffnen einer empirisch gefundenen Reihe von Löchern, während in den Zungenwerken der Orgel für jeden Ton eine besondere Pfeife bestimmt ist.

B. Scheibenförmige Zungen von Metall.

Da dünne Blättchen von Metall und Holz, nach den Gesetzen der Stäbe schwingend, als Zungen wirken, so lässt sich schon

erwarten, dass auch scheibenförmige dünne Metallstücke nach den Gesetzen für die Scheiben schwingend, als Zungen dienen können, wenn sie in der Mitte fixirt sind und die Luft zwischen dem scharfen Rand eines peripherischen Rahmens und dem Rand der dünnen Scheibe durchströmt. Gewisse von Clement und Hachette angestellte Versuche, die von Savart bestätigt worden, scheinen hieher zu gehören. Schweigg. *J.* 51. 314. Clement hat nämlich entdeckt, dass, wenn ein Luftstrom durch eine Oeffnung in einer ebenen Wand geht und eine dünne Platte dieser Oeffnung genähert wird, diese in Schwingung geräth, wobei sehr tiefe dumpfe Töne entstehen. Die Töne entstehen zunächst durch die Eigenschwingungen der Platte und werden wahrscheinlich durch die Luft, wie bei den Zungenpfeifen, verstärkt. Denn wenn man vor die Oeffnung Kreisscheiben von gleicher Dicke, aber von verschiedenen Durchmessern hält, so verhalten sich die Schwingungszahlen umgekehrt als die Quadrate der Durchmesser, wie bei tönenden Kreisscheiben. Die Höhe der Töne ist auch dieselbe, wie wenn man dieselben Kreisscheiben mittelst des Violinbogens in Schwingung bringt. Wahrscheinlich werden sich auch, wie bei den Tönen, die unmittelbar an scheibenförmigen festen Körpern hervorgebracht werden, eben so gut glockenförmig gekrümmte, als ebene Kreisscheiben benutzen lassen.

Wir haben scheibenförmige Zungen nach dem Princip der gewöhnlichen Zungenwerke verfertigen lassen. Eine messingene Kreisscheibe von $\frac{1}{5}$ Millim. Dicke und 35 Millim. Durchmesser ist in ihrer Mitte durch eine Stange so gegen den scharfen Rand eines entsprechenden Rahmens gehalten, dass die Luft durch das mit dem Rahmen verbundene Anspruchsrohr zwischen dem Rahmen und dem Rande der kreisförmigen Zunge durchgetrieben wird. Die Töne erfolgen leicht, wie bei gewöhnlichen Zungenpfeifen. Oft hört man aber mehrere Töne, tiefe und hohe Töne zugleich, z. B. den Grundton und die Quinte, und noch höhere. Durch Einziehen der Luft entstehen auch Töne, wie bei den gewöhnlichen Zungen. Ein ebenso gebautes Instrument mit glockenförmiger Zunge spricht nicht an, wahrscheinlich weil die Zunge durch die Krümmung der Scheibe zu steif geworden und nun nicht gross genug ist.

Eine ganz dünne metallene Kreisscheibe, die in der Mitte eine Oeffnung hat und an einem ganz kurzen Anspruchsstück durch ihre Peripherie befestigt ist, könnte auch unter den Gesichtspunct einer Zunge kommen. Es wäre der umgekehrte Fall, wie der vorhergehende; dort findet der Anspruch am Rande, hier an der centralen Oeffnung statt; der Durchgang der Luft durch die Oeffnung würde hier so wirken, wie der Stab, der durch die Mitte eines an der Peripherie gespannten Felles hin und her getrieben wird und Töne erzeugt. Diess scheint sogar auf den ersten Blick auf die früher p. 141. beschriebene Jägerpfeife anwendbar, welche Savart nicht unter die Zungenpfeifen rechnete. Damit würde übereinstimmen, dass diese Pfeifen mit einem Rohr verbunden werden können und dass die Töne nach dem Ansatzrohr sich verändern.

Dagegen spricht aber, dass die Oeffnung bei diesem Instrument viel weiter ist, als die Spalte an Zungen von Metall seyn muss, wenn Töne entstehen sollen; zwar geben sehr dünne lange Zungenblättchen der Mundharmonica, wie oben gezeigt wurde, selbst ohne Rahmen in der freien Luft ihren Ton schwach an, wenn ein starker Luftstrom aus einem feinen Röhrchen an ihrem Rande vorbeigetrieben wird. Indessen hat doch die von Savart beschriebene Jägerpfeife mehr Aehnlichkeit mit einer Labialpfeife. Ich erhalte schon Töne, wenn ich eine dicke Elfenbeinscheibe mit einem Centralloch mit den Lippen umfasse und die Luft einziehe. Diese Scheibe kann so dick seyn, dass ihre Ränder nicht mehr schwingen können und also nicht als Zunge wirken.

Zweite Classe der Zungenwerke.

Zungenwerke mit einer membranösen oder durch Spannung elastischen Zunge.

(Nach eigenen Untersuchungen.)

Das Studium dieser Art von Zungen ist bisher vernachlässigt worden, und diess ist um so mehr zu bedauern, als in der Kenntniss dieser Art der Zungenwerke der Schlüssel zur Theorie der menschlichen und Vogelstimme liegt. Biot und Cagniard la Tour haben die membranösen Zungenblätter des Kehlkopfes, die Stimmbänder durch elastische Membranen von Kautschuck, die sie über eine Röhre spannten, nachzubilden gesucht und auf diese Art einen künstlichen Kehlkopf gemacht: Henle hat thierische Membranen mit Erfolg zu demselben Zweck benutzt. Bis jetzt ist dieser Gegenstand nicht weit genug verfolgt, um eine vollkommene Parallele zwischen diesen Zungenwerken und dem Stimmorgan zu begründen. Ich habe mir das Verhalten der Bänder und Membranen, wenn sie als Zungen wirken, zum besondern Studium gemacht, und werde hier die Beobachtungen mittheilen, die ich darüber gemacht. Den Leser, dem die spätere Anwendung auf die menschliche Stimme und die am Kehlkopf des Menschen angestellten Versuche verständlich werden sollen, muss ich angelegentlichst ersuchen, den ganzen nun folgenden Abschnitt wohl zu beachten; eben so sehr muss ich den geneigten Leser bitten, die vorhergehende Zusammenstellung der Hauptpuncte der Theorie der musikalischen Instrumente zu berücksichtigen, weil ohne das Vorhergeschickte das Nächstfolgende nicht verständlich ist.

Dass es Zungenwerke oder sogenannte Mundstücke mit membranösen Zungen geben wird, lässt sich schon von vorn herein erwarten. Das Zungenwerk beruht darauf, dass ein Körper, der für sich durch Anstösse entweder gar keine oder schwache und klanglose Töne hervorbringt, durch den continuirlichen Stoss der Luft einen seiner Elasticität und Länge entsprechenden Ton erzeugt. Die bisher betrachteten Zungen waren feste, metallische oder hölzerne Blättchen, die bei ihrer Kürze an und für sich klanglos schwingen, während ihre Schwingungsgesetze

die der schwingenden Stäbe sind. Durch Spannung elastische Körper, die sehr verkürzt für den Anstoss klanglos werden, aber ihre Schwingungsgesetze beibehalten, werden ebenso durch fortdauernde Stösse der Luft klangreiche Töne erzeugen können. Dergleichen Zungen würden sich von den festen, durch sich selbst elastischen dadurch unterscheiden, dass sie, wie die Saiten, an zwei Stellen oder wie die Felle allseitig befestigt seyn müssen, von wo aus sie gespannt werden, während die durch sich elastischen, metallenen Zungen wie die Stäbe an einem Ende befestigt sind. Die Erfahrung bestätigt diese Idee sogleich; denn wenn man über die Mündung eines Rohrs von Holz eine elastische Haut (von Kautschuck) spannt, so dass sie die Hälfte der Mündung bedeckt, die andere Hälfte der Mündung aber durch eine steife Platte von Holz oder Pappe so schliesst, dass zwischen der elastischen Membran und dem Rande des steifen Körpers eine schmale Spalte übrig bleibt, so hat man eine membranöse Zunge, und man erhält einen reinen, starken und klangreichen Ton, wenn man das Rohr von der andern Seite anbläst.

Wir theilen die Zungenwerke mit durch Spannung elastischen Zungen, wie die im vorhergehenden Capitel betrachteten Zungenwerke, auch wieder in zwei Arten ein, in einfache Zungenwerke ohne Ansatzröhre und in zusammengesetzte Zungenwerke mit einer Ansatzröhre, welche den Ton modificirt.

A. Einfache membranöse Zungen ohne Ansatzrohr.

a. Saitenartig gespannte Zungen.

Die einfachen Zungenwerke dieser Art entsprechen der Maultrommel und der Mundharmonica der vorigen Abtheilung. Ich schneide von einer, zur dünnen Membran ausgetriebenen Kautschuckplatte einen schmalen Riemen ab, der 1—2 Linien breit ist, und spanne ihn über einen Ring von Holz oder einen viereckigen Rahmen quer hin. Wird er nun wie eine Saite gezerrt, so giebt er zwar einen schwachen und klanglosen Ton, aber dieser Ton ist so schlecht, wie der durch Anstossen erregte Ton einer metallenen Zunge. Wird aber auf den Ring zu beiden Seiten des elastischen platten Fadens eine steife Platte von Pappe oder Holz befestigt, so dass diese Platten nahe an den elastischen Streifen grenzen und nur eine schmale Spalte jederseits übrig bleibt, so hat man eine Mundharmonica, deren Zunge aus Kautschuck besteht; dieses Instrument giebt, ebenso wie die Mundharmonica gehandhabt, nun einen reinen, starken und klangreichen Ton. Man kann aber auch an einer solchen gespannten Zunge, ohne dass sie von einem Rahmen begrenzt wird, und ohne dass die Luft durch Spalten an ihren Seiten durchströmt, vermöge desselben Princips auf eine andere Art klangreiche Töne hervorbringen. Ich habe schon bei den metallenen Zungen erwähnt, dass die von ihrem Rahmen befreite, an einem Ende befestigte Zunge einer Mundharmonica, wenn sie nur recht lang ist, durch einen auf ihren Seitenrand dicht vor dem Ende geführten, heftigen und feinen Luftstrom aus einem ganz dünnen Röhrchen in tönende Schwingung versetzt werden kann. Diess gelingt indess an den metallenen Zungen sehr schwer, weil sie zu steif sind. An

den vorherbeschriebenen Zungen von Kautschuck gelingt es sehr leicht. Man spanne einen platten schmalen Kautschuckstreifen auf einen Rahmen von 8‴ bis 1″ Durchmesser; man blase dann mittelst eines feinen Tubulus in senkrechter Richtung gegen die Fläche des kleinen Riemens auf den einen Rand desselben, so schwingt er tönend von einer Seite zur andern; oder noch besser, man blase von der Seite her quer über die Fläche des Fadens, so entstehen sogleich Schwingungen nach oben und unten mit starkem reinem Ton, von demselben Klang, wie wenn die Zunge zwischen zwei festen Schenkeln liegt und durch die Spalte durchgeblasen wird. Dieser Ton entsteht offenbar auf dieselbe Art wie bei den metallenen Zungen. Wird ein feiner Strom von Luft gegen den Faden getrieben, so entfernt sich dieser von dem stossenden Körper; da aber die Elasticität des Fadens in dem Grade zunimmt, als der Faden ausgedehnt wird, so tritt ein Zeitpunct ein, wo die Elasticität des Fadens der Geschwindigkeit desselben das Gleichgewicht hält und der Faden macht die rückkehrende Schwingung, wodurch er wieder in so grosse Nähe des Stroms kömmt, dass er wieder abgetrieben wird. Kömmt der Strom der Luft quer über die Mitte des Fadens, oder zwischen die Mitte und die Endpuncte, so kann in beiden Fällen der Grundton des Riemens entstehen; zuweilen wenn der Strom heftig mehr von der Mitte ab über den Riemen weggeht, kömmt ein anderer Ton als der Grundton zum Vorschein. Der Ton hängt aber auch einigermassen von der Stärke des Blasens ab. Lege ich die Kante eines Spatels über die Mitte des Riemens in einer gegen den Riemen senkrechten Richtung, so dass die Kante des Spatels auf dem Ringe zugleich an zwei Stellen aufliegt, und blase ich dann gegen die Hälfte des Fadens, so entsteht die Octave des Grundtons. Durch stärkere Spannung wird der Ton erhöht und er bleibt bei grosser Höhe noch rein und voll. Die Stärke des Anblasens dagegen vermag den Grundton der Saite um einen halben Ton und mehr zu erhöhen. Im Allgemeinen verändern jedoch diese durch Spannung elastischen Zungen ganz wie die Saiten ihre Schwingungen, nämlich die Schwingungsmengen nehmen im umgekehrten Verhältniss der Längen zu, und dem zufolge wahrscheinlich auch im geraden Verhältniss mit den Quadratwurzeln der spannenden Kräfte. Es ist diess schon ein wichtiger Unterschied von den metallischen Zungen, die sich wie die Stäbe verhalten. Bei diesen stehen die Schwingungsmengen bei gleicher Dicke der Zungen im umgekehrten Verhältniss mit den Quadraten der Länge derselben. Von den Saiten unterscheiden sich die membranösen Zungen nur dadurch, dass die Art des Anspruchs den Ton etwas ändert, während doch die Zunge so gut wie die Saite in ganzer Länge schwingt. Spreche ich eine über ein Rohr gespannte von einem Rahmen eingefasste membranöse Zunge durch das Rohr an, so entsteht sowohl beim Ausstossen als Anziehen der Luft ein Ton; beide sind bei möglichst gleichem Anspruch verschieden, der letztere ist meist um einen halben bis ganzen Ton

tiefer. Die Weite der Spalte zwischen den Schenkeln und der elastischen Zunge hat auf die Höhe des Tons keinen sehr merklichen Einfluss; aber das Anblasen spricht leichter an, wenn die Spalte enger ist. Die Stärke des Anblasens kann den Ton etwas erhöhen, z. B. um einen halben Ton, und ebenso kann auch die Stärke des Einziehens den beim Einziehen der Luft entstehenden Ton um etwas erhöhen. Stösst die Zunge an irgend einer Stelle an eine Ungleichheit der Kante der Seitenschenkel, welche sie einfassen, an, so entsteht hier ein Schwingungsknoten und man hört einen viel höhern Ton als den Grundton.

Die Zungenblätter, die durch Spannung elastisch sind, können nun aber in mannigfaltigerer Form, als wir bisher dargestellt, realisirt werden. Es giebt nämlich folgende Formen der Zungen.

1. Ein saitenartig gespannter elastischer Streifen, der von zwei festen Schenkeln eingefasst ist; hier sind zwei Spalten, eine zu jeder Seite des platten Streifens. Diess war der bisher betrachtete Fall.

2. Eine elastische Membran deckt das Ende eines ganz kurzen Rohrs zur Hälfte oder zu irgend einem Theil zu; der andere von der Membran unbedeckte Theil wird von einer festen Platte gedeckt, so dass zwischen beiden eine Spalte übrig bleibt.

3. Zwei elastische Membranen sind über das Ende eines ganz kurzen Rohrs so ausgespannt, dass jede einen Theil der Oeffnung verdeckt und zwischen ihnen eine Spalte übrig bleibt.

Wird die Spalte einerseits von der elastischen Membran, anderseits von einer festen Platte mit scharfem Rande, z. B. Pappe oder Holz, begrenzt, so ist der Erfolg ganz derselbe, wie auf einer nach beiden Seiten freien Zunge. Der Ton war beim Blasen durch das Rohr um einen halben bis ganzen Ton höher, als wenn auf der Membran selbst ein Ton hervorgebracht wurde durch Antreiben eines feinen Luftstroms gegen den Rand. Der beim Blasen angegebene Ton liess sich in allen Fällen durch stärkeres Anblasen auf zwei halbe Töne höher treiben, aber nicht weiter. Der Ton beim Einziehen der Luft ist höher, nur dann tiefer, wenn die feste Platte etwas nach einwärts steht und ihr Rand hinter dem der Membran liegt. Wurde eine runde Röhre angewandt, so wurde die Membran, wie bei einer vierkantigen, nur in einer der Spalte parallelen Richtung gespannt. Membranen, die in einer Richtung gespannt werden, schwingen bekanntlich nach denselben Gesetzen wie die fadenförmigen durch Spannung elastischer Körper. Man sieht diess auch bei diesen Versuchen, denn wenn man ein Häutchen von Kautschuck so über einen quadratischen Rahmen spannt, dass es nur in einer Direction gespannt ist, während einer der Ränder frei ist, der diesem entgegengesetzte aber auf dem Rahmen aufliegt, so giebt die ganze Platte, wenn ihr Rand mit einem feinen Röhrchen stark angeblasen wird, den Grundton, wird aber ein Faden quer über die Platte gelegt, so kann man an der Hälfte der Platte durch Anblasen die Octave hervorbringen.

Da in einer Richtung gespannte Membranen ihre Schwingungen, wie die fadenförmigen durch Spannung elastischen Körper verändern, so wird also bei gleicher Spannung und gleichem Anspruch die Höhe des Tons zunehmen im umgekehrten Verhältniss der Länge der Membran oder der Spalte zwischen der elastischen und der festen Platte.

Die Breite der Spalte hat, so viel ich sehen kann, keinen grossen Einfluss auf die Höhe des Tons, wie bei den metallischen Zungen, aber das Anblasen spricht nicht mehr an, sobald die Spalte zu breit ist.

Von Wichtigkeit ist aber die Stellung des Rahmens gegen die Zunge. Liegt der Rand der festen Lamelle von Pappe dem Rande der membranösen Zunge gerade gegenüber, so kann der Ton um das Intervall von *c—f* oder weniger höher seyn, als wenn die feste Platte etwas weiter vor als die elastische Platte gerückt ist.

Am interessantesten wird der Fall, wenn zwei elastische Membranen die Spalte wie eine Stimmritze begrenzen, diese können entweder gleich stark oder ungleich stark gespannt seyn.

Dadurch, dass man beim Anblasen der Ränder vom gespannten Kautschuckhäutchen einen Ton hört, hat man ein Mittel, die gleiche Spannung von zwei Membranen von Kautschuck, die von gleicher Länge sind, herbeizuführen, indem man die Spannung derselben so lange verändert, bis sie denselben Ton beim Anblasen ihres Randes mit einem feinen Röhrchen geben. Um die eine ohne die andere hiebei tönen zu lassen, drückt man diejenige, welche nicht tönen soll, etwas nieder oder bedeckt sie mit einer dünnen Pappplatte. Nach vorheriger gleicher Spannung von zwei nebeneinander über dem Ende einer vierkantigen Röhre ausgespannten Membranen, konnte nun der von ihnen gemeinschaftlich gegebene Ton geprüft werden. Er war, in diesem Fall, tiefer als der Grundton, den jede einzelne Lamelle beim Anblasen mit einem Röhrchen gab. Waren beide Lamellen für das Anblasen jeder einzelnen mit dem Röhrchen auf *a* gestimmt, so war der gemeinschaftliche Ton beim Anblasen des Rohrs, auf dem sie ausgespannt waren, *gis*. Bei einer zweiten Probe war der Ton jeder Platte beim Blasen mit dem Röhrchen *c*; beider zusammen *h*. Bei einer dritten Probe waren beide auf *h* gestimmt und der gemeinschaftliche Ton war *ais*. Sind beide Platten verschieden hoch gestimmt durch ungleiche Spannung, so scheint oft keine solche Accommodation stattzufinden, wie zwischen den Schwingungen der metallenen Zunge und der Luft eines Ansatzrohrs. Selten gelingt es, die Töne beider Lamellen beim Anblasen zu geben. Der Ton, den man beim Anblasen hört, ist gewöhnlich nur einer, so als wenn die stärker oder die schwächer gespannte Platte nicht töne, oder wie man ihn hört, wenn man das eine gespannte Blatt durch eine aufgesetzte Pappplatte dämpft und diese Platte zur festen macht. Häufig schwingt die wegen zu tiefer Stimmung schwer ansprechende Platte nur schwach mit und wird etwas vorgetrieben. Folgende Versuche

erläutern das einseitige Tönen. Z. B. beide Platten waren so gestimmt, dass sie zwei um eine Octave verschiedene Töne für sich gaben. Wurde die eine durch das Anspruchsrohr, auf dem sie gespannt war, während auf der andern Seite der Spalte eine feste Platte aufgelegt wurde, angeblasen, so gab sie *d*. Wurde die feste Platte weggenommen, so dass die um eine Differenz von einer Octave verschieden gespannten Platten die Spalte begrenzten, so war der Ton gleichfalls, wie wenn die eine Membran fest wäre, *d*, und dieser Ton konnte durch starkes Blasen bis *dis*, *e*, *f* hinaufgetrieben werden. War der unmittelbar ohne Rohr durch einen feinen Luftstrom angegebene Ton des tiefer gespannten Bandes *e*, der des höher gespannten *h*, so dass beide um eine Quinte auseinander lagen, so war der Ton, der entstand, wenn das höher gespannte Band durch eine aufgedrückte Pappplatte gedämpft wurde, durch das Anspruchsrohr *g*; wurde die Platte weggenommen, so dass beide Bänder die Spalte begrenzten, so war der Grundton durch das Rohr auch *g*. Gab die eine Lamelle *a* gegen eine feste Platte, die andere stärker gespannte Lamelle *dis*, so erhielt ich beim ganz leisen Anblasen der Röhre *a*, also den Grundton der tiefer gestimmten Platte. Im letztern Fall musste die höher gestimmte Lamelle mehr passiv seyn, und nicht bestimmend auf die Schwingungen der tiefer gestimmten einwirken. Zuweilen scheint wirklich eine gegenseitige Einwirkung der Schwingungen aufeinander stattzufinden. Cagniard la Tour hat schon bei einem ähnlichen Versuch diess Resultat erhalten, nämlich dass sich die Schwingungen der beiden verschieden gestimmten Platten einander accommodiren. Wären sie z. B. um das Intervall einer Quinte verschieden gestimmt, so war der Ton die dazwischen liegende Terz. Magendie, *Physiologie, übers. v.* Heusinger. *Eisenach* 1834. *I. p.* 246. Ich kann diess Resultat nicht in Zweifel ziehen; ich muss aber auf eine Quelle von Irrthum bei dergleichen Versuchen aufmerksam machen. Oefter glaubt man eine Accommodation wahrzunehmen, wo sie doch eigentlich nicht vorhanden ist. Z. B. bei einem von mir angestellten Versuch waren beide Blätter um eine Octave verschieden gespannt; das Instrument gab angesprochen *h*, das höher gespannte gab gegen eine ihm gegenüber liegende feste Platte *f* über *h*. Hier schien also eine Accommodation stattgefunden zu haben, und das allein *f* gebende Blatt schien mit dem eine Octave tiefer gestimmten Blatte *h* zu geben. Aber die Accommodation war hier nur scheinbar. Denn wenn ich die tiefer gestimmte Lamelle zurückzog und eine feste Platte von Pappe so gegen die höher gestimmte Lamelle stellte, dass die beiden Ränder nicht mehr ganz gegenüber lagen, sondern die feste Platte etwas vor der elastischen Lamelle vorragte, so gab diese allein angesprochen nicht mehr *f*, sondern *h*, wie sie gegeben hatte, als die Spalte von zwei Lamellen begrenzt war. Die feste Platte hatte hiebei ganz dieselbe Stellung, welche die tiefer gestimmte Platte beim Blasen erhält, wenn sie ungleich die Spalte begrenzt. Diese wird nämlich beim Blasen etwas vorgetrieben und schwingt nur schwach.

Die Regel ist diese: diejenige Lamelle tönt, welche bei dem jedesmaligen Anspruch des Blasens am leichtesten in Schwingung versetzt werden kann, und ist der Anspruch der Bewegung beider Lamellen angemessen, so können sogar beide schwingen und sich zu einem einfachen Ton accommodiren; sie können aber auch verschiedene Töne, oder der Anspruch, wenn er sich verändert, hintereinander beide Töne hervorbringen.

Die metallischen Zungen der Mundharmonica accommodiren sich, wenn sie zusammen von derselben Windlade des Mundes angesprochen werden, nicht.

Die elastischen Häute können übrigens mit ihren Rändern auch übereinander gelegt werden. Auch dann entstehen beim Blasen reine Töne.

Sehr kann man die Töne modificiren durch Dämpfen des schwingenden Blattes an verschiedenen Stellen mit dem Finger. Diese Versuche wurden an den Kautschuckhäutchen angestellt, die über das Ende eines Cylinders gespannt waren. Berührte ich den äussern Umfang eines der Blätter mit dem Finger, so nahm die Höhe des Tons etwas zu, und brachte ich den Druck des Fingers mehr und mehr noch gegen die Spalte hin an, so nahm die Höhe der durch Anblasen erzeugten Töne immer mehr zu.

Die membranösen Zungen unterscheiden sich von den metallischen in Hinsicht der Tonveränderung bei stärkerm Anspruch. Ein longitudinal schwingender Körper, wie eine Luftsäule, hebt seinen Ton etwas bei Verstärkung des Anblasens, ein transversal-schwingender Körper tönt etwas tiefer bei grossen Excursionen, wie die Saiten und die metallischen Zungenblätter. W. Weber in Poggend. *Ann. XIV.* 402. Daher wird der Ton eines Zungenstücks mit metallischer Zunge etwas tiefer bei starkem Anblasen. (Diess Verhalten der metallischen Zungen hat vielleicht seinen Grund darin, dass bei schwachem Anspruch die metallene Zunge an der Basis nicht mitschwingt.) Die membranösen Zungen verhalten sich indess hiebei nicht anderen transversal schwingenden Körpern, z. B. Saiten, gleich. Denn bei stärkerm Blasen erhebt sich jedesmal der Ton, wie ich constant höre. (Mir scheint jedoch auch der Ton einer Mundharmonica mit metallischer zarter Zunge beim sehr starken Blasen sich etwas zu heben, und der Ton der ganz zarten Zunge einer Kinderschalmei geht, mag man das Stück, worin sie steckt, allein anblasen oder die ganze Röhre anblasen, bei successiv stärkerm Blasen durch den ganzen Umfang von $1\frac{1}{2}$ Octaven ohne Intervalle durch.

b. Paukenfellartig gespannte Zungen.

Zwei über das Ende einer Röhre nach mehreren Richtungen, nicht nach zwei Seiten allein gespannte Membranen, die eine Spalte zwischen sich haben, gehören schon zur Analogie der Paukenfelle; ebenso eine über das Ende einer Röhre allseitig gespannte einfache Membran mit mittlerer runder Oeffnung zum Durchgang der Luft. Zungen der letztgenannten Art sprechen

jedoch in der Regel nicht an und geben nur selten einen schwachen Ton.

Es fragt sich nun noch, ob die durch membranöse Zungen erzeugten Töne auch durch Ansatz von Röhren verschiedener Länge vor ein Mundstück in der Höhe verändert werden können, wie bei den Mundstücken von metallener Zunge.

Ich habe bald vor den Rahmen, worin die Kautschuckplatten gespannt waren, bald hinter denselben Röhren von verschiedener Länge angebracht. Die Ansatzröhre sowohl als die Windlade haben auf die Höhe des Tons grossen Einfluss.

B. Membranöse Zungen mit Ansatzrohr.

Um den Einfluss des Ansatzrohrs zu untersuchen, bediente ich mich zuerst der Röhre einer Clarinette, bei der der Einfluss der Luftsäule der Röhre auf den Ton des Mundstücks und der Einfluss der einzelnen Löcher auf die Modification des Tones bekannt ist. Ich nahm nämlich das gewöhnliche Mundstück der Clarinette ab und ersetzte es durch ein einlippiges Mundstück mit membranöser Zunge von Kautschuck. Die Stimmung der Platte wurde bei den verschiedenen Versuchen verschieden hoch genommen. Der Erfolg blieb sich indess im Allgemeinen ziemlich gleich.

Ist die Clarinette so vorbereitet, so versuche ich das Oeffnen und Schliessen der Seitenlöcher. Hiebei zeigt sich bald, dass das Ansatzrohr der Clarinette den Grundton der membranösen Zunge für sich tiefer macht, dass aber der Einfluss der Seitenlöcher viel geringer ist, als wenn das gewöhnliche Mundstück einer Clarinette dieser aufgesetzt wird. Durch successives Oeffnen der Seitenlöcher und Klappen von unten nach oben, lässt sich bei einer gewöhnlichen Clarinette der Ton successiv um halbe Töne erhöhen. Ist aber das Mundstück mit membranöser Zunge aufgesetzt, so wird die Höhe des Tons durch successives Oeffnen der Löcher von unten nach oben nur ganz unmerklich und bis zu den obersten Löchern und Klappen nur um einen Ton erhöht, nur die obersten Seitenlöcher haben einen erheblichen Einfluss. Nach dem Oeffnen der obersten Seitenlöcher war der Ton nur um einen ganzen Ton höher, als er bei Schliessung aller Seitenlöcher war.

Um den Einfluss der Ansatzröhren an membranösen Zungen bestimmter kennen zu lernen, liess ich von einem Orgelbauer zu einem Mundstück mit membranöser Zunge cylindrische Ansatzröhren von Pappe von verschiedener Länge verfertigen, die aneinander geschoben werden konnten. Der Querdurchmesser dieser Röhren betrug einen Zoll. Die erste dieser Röhren war zur Aufnahme des Mundstücks mit membranöser Zunge bestimmt. Die Membranen waren über das Ende eines kurzen Rohrs gespannt. Die Mundstücke waren verschieden. Eines war mit zwei Holzplättchen gedeckt, die eine Spalte zwischen sich liessen, in welche ein Streifen von dünnem Kautschuck als Zunge eingespannt werden konnte. Ein anderes Mundstück war nur zur Hälfte mit

einer Holzplatte gedeckt, so dass die offene Hälfte mit einer gespannten Kautschuckplatte bedeckt werden konnte. Ein drittes Mundstück war ohne Holzplatten und mit gespannten Kautschuckplatten gedeckt, die dicht aneinander lagen. Ein viertes Mundstück war auch mit zwei Kautschuckplatten gedeckt; an diesem Mundstück war die Oeffnung, über welche die Platten gespannt wurden, seitlich, so dass die Spalte parallel mit der Länge des Mundstücks verlief, wie an den gewöhnlichen Mundstücken der Zungenpfeifen. An den drei ersten Mundstücken war hingegen die Spalte in entgegengesetzter Richtung von der Achse des Mundstücks. Das Rohr des Mundstücks diente zum Anblasen. Das andere Ende, woran die Zunge, passte in das eine Ende der ersten Ansatzröhre von Pappe. Der Ansatzröhren waren 5. Die erste diente als Fuss zur Aufnahme des Mundstücks; diess Fussstück war so eingerichtet, dass der Grundton seiner Luftsäule $\overline{\overline{\overline{c}}}$ bildete. Ein zweites Stück konnte an das Fussstück angeschoben werden, es war von dem Orgelbauer so mensurirt, dass es mit dem Fussstück zusammen $\overline{\overline{c}}$ bildete. Das dritte Ansatzstück gab mit dem Fussstück die Quinte $\overline{\overline{g}}$. Das vierte Stück war so mensurirt, dass es mit dem Fuss $\overline{c}$ bildete. Das fünfte Stück war so lang, dass es mit dem vorhergehenden und dem Fuss *c* bildete. Hienach konnten die Stücke so aneinander gesetzt werden, dass sie für sich ohne Mundstück den Tönen $\overline{\overline{\overline{c}}}$ der Octave desselben $\overline{\overline{c}}$, der Quinte des letzteren $\overline{\overline{g}}$, der Octave des vorletzten $\overline{c}$ und der Octave dieses *c* entsprachen.

Das mit membranöser Zunge versehene Mundstück wurde nun mit diesen Röhren verschiedener Länge verbunden und der Einfluss der Ansatzröhren auf den Ton des Mundstücks untersucht. Die Versuche fielen sehr ungleich aus. Der Grundton des Mundstücks wurde durch den Fuss meist etwas tiefer, bald weniger als einen halben Ton, bald einen halben bis ganzen Ton. Eine feste Regel liess sich jetzt noch nicht einsehen. Bei Ansatz der nächsten Röhre zum Fuss wurde der Ton einen oder mehrere halbe Töne tiefer, oder erhob sich wieder; auch in dieser Hinsicht liess sich jetzt noch keine feste Regel herausbringen. Um einen festern Punct der Vergleichung bei so schwierigen und schwer auszulegenden Versuchen zu erhalten, wurde immer der bei dem schwächsten Anspruch entstehende Ton zur Grundlage angenommen; die höheren Töne, die sich bei stärkerm Anblasen durch Entstehung von Schwingungsknoten in der Ansatzröhre bildeten, aber bei der Vergleichung ausgeschlossen. In einigen Fällen wurde selbst beim Ansatz des zweiten Stücks, wodurch der Ansatz um eine Octave vermehrt wurde, kein Herabdrücken des Tons merklich. In diesem Fall trat dann bei dem nächsten Ansatzstücke zuweilen eine kleine Vertiefung um einen halben oder ganzen Ton ein; in anderen Fällen hingegen erhielt sich der Ton des Mundstücks, den es bei dem ersten Ansatzstück hatte, selbst beim Ansatz des zweiten, dritten und der übrigen Stücke unverändert.

Wenn der Ton bei Ansatz des zweiten Stücks herabgedrückt wurde, so erhob er sich beim Ansatz eines der folgenden Stücke gewöhnlich wieder um so viel, dass er dem Ton sich näherte oder gleich war, den das Mundstück mit dem Fussstück allein gab, und dann blieb der Ton bei Ansatz der letzten Stücke sich gleich oder fast gleich, oder aber senkte er sich unbedeutend bei Ansatz des letzten Stücks wieder. Zur Basis der Vergleichung der Töne des Mundstücks allein mit den Tönen, welche die Ansatzstücke allein zu geben fähig waren, diente eine besondere Labialpfeife, die denselben Grundton hatte, wie das Fussstück mit dem ersten Ansatzstück $\bar{\bar{c}}$. Der Ton des Mundstücks und die Töne, welche das Mundstück mit den Ansatzröhren zusammen gab, wurden jedesmal an einem gut gestimmten Clavier bestimmt. Da die Versuche so ganz ungleich ausfielen, das Verhältniss des Tons des Mundstücks zum Ton des Ansatzrohrs, ferner die verschiedene Stärke und Art des Anblasens, die theils nicht zu vermeiden sind, theils aber nöthig werden, um bei gewissen Ansätzen noch einen tiefen Ton hervorzubringen, keine Gleichheit des Resultats aufkommen lassen, so würde eine Mittheilung aller einzelnen Versuche, die sehr oft angestellt wurden, kaum der Mühe verlohnen. Ich will nur einige Beispiele von einem einlippigen Mundstück anführen, um zu zeigen, wie ungleich das Resultat war.

I. Das Mundstück war durch Spannung so gestimmt, dass es allein durch ein Röhrchen angeblasen den Grundton $\bar{\bar{c}}$ der Labialpfeife angab.

Mundstück durch das kurze Anspruchsrohr angeblasen, allein ohne Ansatz $\bar{a}$ der vorhergehenden Octave.

Mit dem Fuss *gis* einen halben Ton tiefer.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 2 oder Fuss mit dem Ansatzstück, das mit dem Fuss die tiefere Octave des Fusses oder $\bar{\bar{c}}$ bildete, $\bar{e}$.

Mit dem nächsten Ansatz hob sich der Ton wieder auf $\bar{g}$.

II. Mundstück mit Anspruchsrohr $\overline{ais}$ unter dem Grundton $\bar{\bar{c}}$ der Labialpfeife.

Mit Fuss $\overline{ais}$.

Mit Verdoppelung des Fusses durch den Ansatz das nächst tiefere *gis*.

Fuss mit dem Quintenstück wieder $\overline{ais}$, wie beim Fuss.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 4 wieder $\bar{a}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 8 wieder $\overline{ais}$, wie beim Fuss.

III. Mundstück aus dem Anspruchsrohr allein das $\bar{a}$ unter dem Grundton $\bar{\bar{c}}$ der Labialpfeife.

Mit Fussstück $\bar{a}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 2 das nächst tiefere $\overline{fis}$.

Verlängerung des Fusses durch das Quintenstück, bleibt $\overline{fis}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 4 das nächste $\overline{gis}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 8 wieder $\overline{fis}$.

IV. Mundstück aus dem Ansprüchsrohr allein giebt $\overline{e}$ der Octave unter dem Grundton $\overline{\overline{c}}$ der Labialpfeife.

Mit Fuss das nächst tiefere $\overline{dis}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 2 wieder $\overline{e}$.

Fuss mit dem Quintenstück wieder $\overline{dis}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 4 wieder $\overline{e}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 8, $\overline{e}$ bleibt.

V. Mundstück aus dem Anspruchsrohr allein giebt $\overline{e}$ unter dem Grundton $\overline{\overline{c}}$ der Labialpfeife.

Mit Fuss das nächst tiefere $\overline{d}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 2, kein Ton.

Verlängerung des Fusses durch das Quintenstück $\overline{dis}$ derselben Octave.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 4, $\overline{e}$ derselben Octave.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 8, kein Ton in derselben Octave, schwankendes $\overline{\overline{h}}$ der nächst höhern Octave bei stärkerm Anspruch.

VI. Mundstück aus dem Anspruchsrohr allein $\overline{cis}$ nächst unter $\overline{\overline{c}}$ der Labialpfeife.

Mit Fuss das nächst tiefere $\overline{c}$, ein halber Ton tiefer.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 2 wieder $\overline{cis}$.

Verlängerung des Fusses durch das Quintenstück wieder $\overline{cis}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 4 *ais* tiefer.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 8 wieder $\overline{cis}$.

VII. Mundstück aus dem Anspruchsrohr übereinstimmend mit dem Grundton $\overline{\overline{c}}$ der Labialpfeife.

Mit Fuss $\overline{h}$, ein halber Ton tiefer.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 2 *f* tiefer.

Verlängerung des Fusses durch das Quintenstück wieder $\overline{f}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 4 *gis*.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 8 $\overline{fis}$.

VIII. Mundstück aus dem Anspruchsrohr allein eine Octave höher als der Grundton $\overline{\overline{c}}$ der Labialpfeife.

Mit Fuss bleibt $\overline{\overline{\overline{c}}}$.

Verlängerung des Fusses auf das Doppelte, bleibt $\overline{\overline{\overline{c}}}$.

Verlängerung des Fusses durch das Quintenstück, wieder $\overline{\overline{\overline{c}}}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 4, das nächst tiefere $\overline{\overline{h}}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 8, wieder $\overline{\overline{\overline{c}}}$.

IX. Mundstück aus dem Anspruchsrohr $\overline{\overline{\overline{d}}}$ der Octave über $\overline{\overline{c}}$ dem Grundton der Labialpfeife.

Mit Fuss bleibt $\overline{\overline{\overline{d}}}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 2, dasselbe $\overline{\overline{\overline{d}}}$.

Verlängerung des Fusses durch das Quintenstück, dasselbe $\overline{\overline{\overline{d}}}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 4, — $\overline{\overline{\overline{dis}}}$.

Verlängerung des Fusses von 1 zu 8, dasselbe unreine $\overline{\overline{\overline{dis}}}$.

Die Widersprüche der einzelnen Versuche sind auffallend. Ursachen davon sind das verschiedene Verhältniss des Grundtons des Mundstücks zu dem Grundton des Ansatzrohrs, und die verschiedene Art des Anspruchs, die nöthig war um den Ton hervorzulocken, und welche sogleich den Ton modificirt. So viel ergiebt sich dagegen als Gewissheit, dass ein kurzes Rohr, dessen eigener Ton ohne Mundstück viel höher seyn würde, als der Ton des Mundstücks allein, bei kurzer Windlade den Ton nicht zu sich in die Höhe zieht, sondern gewöhnlich etwas vertieft, und dass eine Vermehrung des Ansatzes, wenn der Ton gefallen war, zuletzt wieder in die Nähe des ursprünglichen Tons zurückführt.

Bei den vorher angeführten Versuchen war der Anspruch der Zungenwerke mit membranöser Zunge mit dem Mund geschehen. Ganz interessant wird der Fall, wenn man das auf eine Ansatzröhre gesetzte Mundstück nicht mit dem Munde anbläst, wobei der Strom der Luft nothwendig durch das Ansatzrohr durchgeht, sondern die membranöse Zunge durch Hinwegblasen mit einem feinen Röhrchen über dieselbe anspricht. In diesem Fall geht gar kein Strom der Luft durch die Ansatzröhre durch. Die Veränderung des Tons des Mundstücks durch das Ansatzrohr blieb auch hier nicht ganz aus. Ich führe einige der auf diese Art angestellten Versuche an.

I. Ton der Kautschuckzunge des Mundstücks ohne allen Ansatz beim Anspruch mit einem feinen Röhrchen $\overline{h}$.

Mit dem Fuss, Anspruch der Zunge mittelst des feinen Röhrchens $\overline{ais}$.

Ansatz eines Rohrs von $\overline{\overline{c}}$, Anspruch der Zunge wie vorher, Ton $\overline{h}$, spricht schlecht an.

Verbindung des Fusses mit dem Quintenstück, $\overline{h}$.

Ansatz des Rohrs von $\overline{c}$ giebt mit der Zunge den Ton $\overline{gis}$.

Ansatz eines Rohrs von *c* giebt mit der Zunge $\overline{ais}$.

II. Ton einer Zunge bei 3½ Zoll Ansatzrohr $\overline{c}$,

beim Ansatzrohr von $\overline{\overline{c}}$ giebt $\overline{\overline{c}}$,

beim Ansatzrohr von $\overline{\overline{c}}$ giebt $\overline{\overline{c}}$,

Fussstück mit dem Quintenstück $\overline{\overline{c}}$,

beim Ansatzrohr von $\overline{c}$ giebt $\overline{\overline{c}}$,
beim Ansatzrohr von *c* giebt $\overline{h}$.

III. Ton einer Zunge bei 3½ Zoll Ansatzrohr $\overline{dis}$,
beim Ansatzrohr von $\overline{\overline{\overline{c}}}$ giebt $\overline{d}$,
beim Ansatzrohr von $\overline{\overline{c}}$ giebt $\overline{d}$,
Fussstück mit dem Quintenstück $\overline{cis}$,
beim Ansatzrohr von $\overline{c}$ giebt $\overline{dis}$,
beim Ansatzrohr von *c* giebt $\overline{d}$.

IV. Ton der Kautschuckzunge bei 2½ Zoll Ansatzrohr $\overline{h}$,
beim Ansatzrohr von $\overline{\overline{\overline{c}}}$ giebt $\overline{ais}$,
beim Ansatzrohr von $\overline{\overline{c}}$ giebt $\overline{h}$ schwach,
beim Ansatzrohr von $\overline{c}$ giebt $\overline{h}$ schwach,
beim Ansatzrohr von *c* giebt $\overline{h}$ schwach.

Die bisherigen Reihen der Versuche geben nur einen unvollkommenen Begriff von der Modification des Zungentons durch das Ansatzohr. Die angewandten Röhren von bestimmtem Maass können in einzelnen Fällen den Ton wenig verändern und doch würden es andere Verhältnisse der Röhren sehr gut thun können. Es ist diess ein Hauptgrund, warum die bisher angewandten Ansatzröhren bei gewissen Tönen des Mundstücks nur geringe, bei anderen aber grosse Veränderungen hervorgebracht haben. Um einem bestimmten Gesetz, welches hierbei obwaltet, auf die Spur zu kommen, wandte ich Röhren von 1 Zoll Durchmesser an, die durch Verschiebung von kleinen Dimensionen bis zu 4 Fuss ganz successiv verlängert werden können.

Mit dieser Vorrichtung wurde der Einfluss des Ansatzrohrs auf den Ton des Mundstücks von den kleinsten Dimensionen an gemessen.

Folgende Versuche wurden damit angestellt.

I. Grundton einer einlippigen Kautschuckzunge (durch ein Windrohr von 3") $\overline{\overline{cis}}$.

Ansatz.	Ton.	Bemerkungen.
0	$\overline{\overline{cis}}$	
6"	$\overline{\overline{c}}$	Der Ton fällt.
6" 9'''	$\overline{h}$	«
7" 6'''	$\overline{ais}$	«
9"	$\overline{a}$	«
9" 6'''	$\overline{a}$ und $\overline{\overline{cis}}$	Der Ton springt von $\overline{a}$ auf $\overline{\overline{cis}}$, $\overline{\overline{cis}}$ bleibt bis gegen 18" Ansatz.
18"	$\overline{\overline{c}}$	Fällt.
20"	$\overline{\overline{cis}}$	«
22" 6'''	$\overline{a}$ und $\overline{\overline{cis}}$	Der Ton springt von $\overline{a}$ auf $\overline{\overline{cis}}$ und bleibt dann $\overline{\overline{cis}}$ bis gegen 30" Ansatz.

Ansatz.	Ton.	Bemerkungen.
30"	$\overline{\overline{c}}$	Fällt.
31"	$\overline{h}$ und $\overline{\overline{cis}}$	Der Ton springt von $\overline{h}$ auf $\overline{\overline{cis}}$.
36"	$\overline{\overline{cis}}$	
40"	$\overline{\overline{c}}$	Fällt.
45"	$\overline{h}$ und $\overline{\overline{cis}}$	Springt.
48"	$\overline{\overline{cis}}$	

II. Grundton einer einlippigen Kautschuckzunge durch den Anspruch des Mundes ohne Windrohr $\overline{\overline{dis}}$.

0	$\overline{\overline{dis}}$	
3"	$\overline{\overline{d}}$	Der Ton fällt.
4" 6"'	$\overline{\overline{cis}}$	«
5"	$\overline{\overline{c}}$	«
6" 6"'	$\overline{h}$	«
7"	$\overline{ais}$	«
8"	$\overline{a}$	«
9" 6"'	$\overline{gis}$	«
10"	$\overline{gis}$ und $\overline{\overline{cis}}$	Der Ton springt von $\overline{gis}$ auf $\overline{\overline{cis}}$.
11"	$\overline{\overline{cis}}$	Fällt.
13"	$\overline{\overline{c}}$	«
17" 6"'	$\overline{h}$	«
20" 6"'	$\overline{ais}$	«
22"	$\overline{a}$	«
23" 6"'	$\overline{gis}$	«
26" 6"'	$\overline{gis}$ und $\overline{h}$	Hintereinander. Sprung.
31"	$\overline{ais}$	
35"	$\overline{a}$	Der Ton fällt.
39"	$\overline{gis}$	«
41"	$\overline{gis}$ und $\overline{h}$	Hintereinander.
45"	$\overline{ais}$	Fällt.

III. Einlippige Zunge ohne Windrohr.

3" 6"'	$\overline{\overline{f}}$	
4"	$\overline{\overline{e}}$	Der Ton fällt.
4" 6"'	$\overline{\overline{dis}}$	«
5"	$\overline{\overline{d}}$	«
6"	$\overline{\overline{cis}}$	«
6" 8"'	$\overline{\overline{c}}$	«
7" 6"'	$\overline{h}$	«

Ansatz.	Ton.	Bemerkungen.
8″	$\overline{ais}$	Der Ton fällt.
8″ 6‴	$\overline{c}$	«
9″	$\overline{gis}$	«
9″ 6‴	$\overline{g}$	«
10″	$\overline{fis}$	«
11″ 3‴	$\overline{f}$	«
12″	$\overline{e}$	«
12″ 6‴	$\overline{dis}$	«
14″	$\overline{d}$	«
17″ 6‴	$\overline{dis}$	
19″	$\overline{dis}$ und $\overline{\overline{c}}$	Hintereinander. Sprung.
20″ 3‴	$\overline{h}$	Der Ton fällt.
21″	$\overline{ais}$	«
22″ 6‴	$\overline{a}$	«
24″	$\overline{gis}$	«
25″	$\overline{g}$	«
29″ 9‴	$\overline{fis}$	«
33″	$\overline{f}$	«
34″ 3‴	$\overline{e}$	«
35″ 6‴	$\overline{dis}$	«
38″ 6‴	$\overline{dis}$ und $\overline{\overline{c}}$	Hintereinander. Sprung.
40″	$\overline{\overline{dis}}$	Der Ton fällt.
42″	$\overline{\overline{d}}$	«
42″ 9‴	$\overline{\overline{cis}}$	«
43″ 4‴	$\overline{\overline{c}}$	«
44″ 4‴	$\overline{h}$	«
44″ 6‴	$\overline{ais}$	«
45″	$\overline{a}$	«
46″	$\overline{gis}$	«

IV. Ton einer einlippigen Zunge (durch den Mund ohne Windrohr) $\overline{h}$.

0	$\overline{h}$	
1″ 2‴	$\overline{ais}$	Der Ton fällt.
2″	$\overline{a}$	«
3″	$\overline{gis}$	«
7″ 6‴	$\overline{g}$	«
9″	$\overline{fis}$	«
10″	$\overline{f}$	«
13″	$\overline{e}$	«
17″	$\overline{dis}$	«

Ansatz.	Ton.	Bemerkungen.
22″ 4‴	+ $\overline{ais}$	Sprung.
23″	$\overline{g}$	Der Ton fällt.
25″ 6‴	$\overline{fis}$	«
27″ 6‴	$\overline{f}$	«
32″	$\overline{e}$	«
39″ 6‴	$\overline{dis}$	«
40″	$\overline{g}$	Sprung.
42″ 3‴	$\overline{fis}$	Der Ton fällt
45″	$\overline{f}$	«

V. Ton einer einlippigen Kautschuckzunge durch den Mund ohne Windrohr angesprochen $\overline{\overline{e}}$.

3″	$\overline{\overline{dis}}$	Fällt.
3″ 9‴	$\overline{\overline{d}}$	«
4″ 9‴	$\overline{\overline{cis}}$	«
5″ 6‴	$\overline{\overline{c}}$	«
6″ 2‴	$\overline{h}$	«
7″ 4‴	$\overline{ais}$	«
10″	$\overline{a}$	«
13″ 6‴	$\overline{\overline{e}}$	Springt.
15″	$\overline{\overline{d}}$	Fällt.
15″ 8‴	$\overline{\overline{cis}}$	«
17″ 6‴	$\overline{\overline{c}}$	«
20″	$\overline{h}$	«
24″	$\overline{a}$	«
28″	$\overline{\overline{dis}}$	Springt.
29″ 6‴	$\overline{\overline{d}}$	Fällt.
30″	$\overline{\overline{c}}$	«
30″ 6‴	$\overline{h}$	«
34″	$\overline{ais}$	«
35″	$\overline{a}$	«
41″ 6‴	$\overline{\overline{dis}}$ — $\overline{\overline{e}}$	Springt.
42″	$\overline{\overline{c}}$	«
43″	$\overline{h}$	«

VI. Ton einer einlippigen Kautschuckzunge bei 5 Zoll Ansatzrohr $\overline{g}$. Der Rahmen der Zunge liegt etwas auf der Holzplatte oder dem Rahmen auf. Der Ton fällt bis 21 Zoll Ansatz, springt bei 21, fällt wieder bis 42, springt und fällt wieder.

Diese Versuche wurden noch öfter wiederholt und gaben ähnliche Resultate.

Dass die Veränderung des Tons einer membranösen Zunge nicht gleichmässig von der absoluten Länge der Ansatzröhre abhängt, ergab sich schon aus der ersten Reihe der Versuche mit gleichbleibenden Ansätzen bei verschieden hoch gestimmten Zungen. Aus der gegenwärtigen Reihe der Versuche ergiebt sich noch bestimmter dass diese Veränderung abhängt vom Verhältniss des Grundtons der Zunge zum Grundton der Ansatzröhre. Unsere Ansatzröhren waren ein Zoll im Durchmesser. Eine Ansatzröhre dieser Art von 11 Zoll 4 lin. Par. hat $\overline{\overline{c}}$ zu ihrem Grundton. Hiernach lassen sich die Grundtöne der jedesmal angewandten Ansätze berechnen. Gewöhnlich fällt der Ton durch successive Ansätze oder Verlängerung der Ansatzröhre durch alle halbe Töne bis die Röhre eine solche Länge erreicht, dass ihr Grundton allein dem Grundton der Zunge sich annähert, und schon vorher hat die Vertiefung ihre Grenze; denn nicht um eine ganze Octave lässt sich der Ton leicht auf diese Art vertiefen, z. B. nur von $\overline{\overline{cis}}$ bis $\overline{a}$ (Versuch I.) von $\overline{\overline{dis}}$—$\overline{gis}$ (II.) $\overline{\overline{e}}$—$\overline{a}$ (V.). An einer bestimmten Grenze springt er zum Grundton der Zunge oder in dessen Nähe wieder in die Höhe und fällt jetzt durch weitere Ansätze bis ohngefähr diese das doppelte erreicht haben, nun springt er wieder in die Höhe, fällt wieder durch neue Ansätze. In mehreren Fällen (III.) dauerte das Fallen länger fort bis in die Nähe einer Octave herab. Der Sprung in die Höhe trat dann nicht da ein, wenn der Ansatz ohngefähr so lang war, dass sein Grundton dem der Zunge nahe war, sondern der Sprung trat erst bei dem doppelten dieser Länge ein. Die Ursachen dieser Verschiedenheit sind mir nicht bekannt geworden. Soviel ergiebt sich aber schon jetzt aus diesen Versuchen, dass sich die Zungenpfeifen mit membranöser Zunge ohngefähr auf ähnliche Weise, wie die Zungenpfeifen mit metallischer Zunge beim Ansetzen von Röhren verhalten. Bei den letzteren lassen die Versuche eine viel grössere Praecision zu, weil sich der Ton der metallischen Zungen durch Veränderung der Stärke des Anspruchs nur äusserst wenig verändert, während diese Veränderung (um einen halben selbst ganzen Ton) bei den membranösen Zungen so leicht ist. Durch Ansprechen der Zungen mittelst eines Blasebalges, der durch Gewichte beschwert ist, würde man wohl diesem Uebelstande einigermassen abhelfen können, indessen hat das Anblasen mit dem Munde mittelst des schwächsten tongebenden Anspruchs doch gewisse Vorzüge und ist kaum zu vermeiden, weil oft nur eine bestimmte Art des Anspruchs und Lage der Lippen (ohne Veränderung der Stärke des Blasens) einen Ton hervorlockt.

Ueber die Veränderung der Töne der Zungenpfeifen mit metallischen Zungen durch Ansatzröhren besitzen wir die classischen Untersuchungen von W. Weber. Poggend. *Annal. XVI. XVII.* Weber hat darüber folgende Aufschlüsse gegeben:

A sey der vierte Theil der Länge einer Ansatzröhre deren Luftsäule einen mit der isolirten Zunge gleichen Grundton hat

Je tiefer oder höher daher der Ton der isolirten Zunge ist, desto länger oder kürzer ist *a*.

1. Eine Ansatzröhre, die bis *a*. verlängert wird, vertieft den Ton unmerklich.

2. Bei Verlängerung von *a* bis 2 *a* wächst die Tiefe merklich; indessen wächst die Dauer der Schwingungen langsamer als die Länge der Luftsäulen.

3. Während die Länge der Luftsäule von 2 *a* bis 3 *a* zunimmt, vertieft sich der Ton schnell und die Tiefe wächst fast eben so schnell als die Länge der Luftsäule.

4. Bei der Verlängerung von 3 *a* bis 4 *a* wird der Ton noch schneller tief, bis er zuletzt eine Octave tiefer als der Ton der Zunge allein ist; die Vertiefung wächst dabei vollkommen gleich schnell als die Länge der Luftsäule. Bei fortgesetzter Verlängerung springt der Ton plötzlich auf den hohen Ton der isolirten Platte zurück und dieser wird durch weitere Verlängerung wieder auf dieselbe Weise tiefer und wird bei einer Länge von 8 *a* um eine Quarte tiefer als der Ton der isolirten Zunge. Bei weiterer Verlängerung springt der Ton wieder in die Höhe auf den Ton der Zunge, dieser wird durch Verlängerung der Ansatzröhre bis auf 12 *a* bis zur kleinen Terz des Tons der Zunge vertieft. Dann springt der Ton wieder zurück. POGGEND. *Annal. XVI.* 425.

Der Ton der Zungenpfeifen mit membranöser Zunge kann ausser den Ansatzröhren noch durch zwei Mittel, durch die Stärke des Blasens und durch die theilweise Verschliessung der Endöffnung des Ansatzrohrs verändert werden.

Wurde das Mundstück mit membranöser Zunge mit Ansatzröhren von einiger Länge, z. B. 4 Fuss versehen, so konnte der Ton durch stärkeres Anblasen und andere Art des Anblasens fast bis zur Octave in halben Tönen steigen. Was nicht durch einfache Verstärkung des Anblasens erreicht werden konnte, konnte durch Blasen mit engerer Lippenöffnung erzielt werden; so z. B. war der Ton der Zungenpfeife von 4 Fuss mit membranöser Zunge *c*; durch stärkeres Anblasen mit oder ohne Zusammenziehen der Lippen stieg er mit Leichtigkeit auf *cis*, *d*, *dis*, *e*, sehr schwer war *f*, dann wieder leicht *fis*, *g*, *gis*, *a*, *ais*, sehr schwer aber *h* und unrein.

Nach den Gebrüdern WEBER (*Wellenlehre.* 526.) können auch die Zungenpfeifen mit metallischen Zungen Flageolettöne (Schwingungen mit Schwingungsknoten) hervorbringen und der Ton, den eine Zungenpfeife hervorbringt, wenn sie einfach schwingt, ist um eine Octave und eine Quinte tiefer als wenn sie so schwingt, dass sich ein Schwingungsknoten bildet; so dass sich in dieser Hinsicht die Zungenpfeifen wie Pfeifen verhalten, deren eines Ende offen, deren anderes verschlossen ist. Aber diess ist bloss den Zungenpfeifen mit membranöser Zunge eigen, dass sich der Ton der Zunge allein sowohl, wie in ihrer Verbindung mit dem Ansatzrohr durch Stärke des Blasens in einigen halben Tönen heben lässt. Nehme ich statt trockner elastischer Zungen nasse elastische Häute, z. B. von Arterienhaut, so lässt sich der Ton ohne Ansatz noch viel höher treiben, in halben Tönen bis gegen die Quinte.

Die Endöffnung des Ansatzrohrs hat auf den Ton der Zungenpfeife mit membranöser Zunge Einfluss. Bei einem Ansatzrohr von 3 Zoll am Mundstück, konnte ich den Ton durch grösser werdende Bedeckung der Oeffnung um eine ganze Quinte herabdrücken. Beim Ansatz des Stücks von 6 Zoll fiel der Ton des Mundstücks bei der halben Bedeckung um einen halben Ton, durch Einbringen des Fingers von *c* bis *f*. In demselben Maass als der Ton sich erniedrigt, verliert er an Stärke. In manchen Fällen war der Erfolg des Einbringens des Fingers ein ganz entgegengesetzter; der Ton erhob sich nämlich etwas, so z. B. war der Ton der Zungenpfeife von 24 Zoll, deren Mundstück *d* gab, *dis*, durch Einbringen des Fingers konnte der Ton etwas gehoben werden, und Aehnliches kam öfter vor.

Die Ursache dieses letztern widersprechenden Verhaltens war mir lange unklar geblieben, bis ich ihr näher auf die Spur kam. So lange der Ton durch Ansätze sich noch vertieft, wird er durch Bedeckungen der Endöffnung immer tiefer. Wenn aber die Verlängerung einen Punct erreicht, wo der Ton nahe ist am Sprung auf den hohen Ton zurück, dann kann die Bedekkung den Ton etwas erheben und sogar den Sprung herbeiführen. So z. B. fiel der Ton von 5 Zoll Ansatz bis 15 Zoll fortwährend, nämlich von $\overline{g}$ zu $\overline{d}$. Bei Längen der Ansätze zwischen 5 und 15 Zoll bewirkte die Bedeckung der Endöffnung immer eine Vertiefung. Bei 21 Zoll Ansatz war der Ton auf dem Sprunge von $\overline{dis}$ auf $\overline{g}$ in die Höhe und bei dieser Länge des Rohrs konnte der Ton durch Bedeckung der Endöffnung auf *e* gebracht und der Sprung auf *g* leichter herbeigeführt werden.

Befindet sich eine bedeutende Verengerung (Stopfen) am andern Theil des Ansatzrohrs, nämlich dicht vor der Zunge, so wird der Ton meist höher, als durch das Ansprachsrohr ohne Verengerung.

G. Einfluss des Windrohrs auf den Ton der membranösen Zungen.

Den Einfluss des Windrohrs auf die Höhe des Tons einer Zungenpfeife mit metallischer Zunge hat, wie es scheint, zuerst Grenié beobachtet. Muncke in Gehler's *physik. Wörterb.* VIII. 376. Dieser Einfluss ist bisher noch nicht hinreichend erörtert worden. Ich finde dass das Windrohr, durch welches eine membranöse Zunge angeblasen wird, einen ebenso grossen Einfluss auf Vertiefung des Tons der Zunge als das Ansatzrohr hat. Dieser Gegenstand ist auch wieder in Beziehung auf das Stimmorgan von der grössten Wichtigkeit und muss hier ausführlich erklärt werden.

Im allgemeinen giebt es 5 Zustände, in welchen eine Zunge zum Tönen gebracht wird. 1. Sie wird ohne Ansatzrohr und Windrohr und ohne Rahmen durch den freien Strom der Luft aus einem feinen Röhrchen angeblasen; der Ton ist wie wir gesehen schon verschieden von dem, den sie in einem Rahmen gespannt giebt, wenn der Rahmen mit den Lippen umfasst und der Anspruch durch den Mund geschieht. 2. Die Zunge ist von

einem Rahmen begrenzt und wird ohne Ansatzrohr und ohne Windrohr durch den Mund angesprochen, wobei die Athemorgane allein die Windlade sind. 3. Die Zunge ist mit einem Ansatzrohr versehen, und der Anspruch geschieht ohne besonderes Windrohr durch den Mund. 4. Die Zunge ist ohne Ansatzrohr und wird durch ein Windrohr auf dem sie gespannt ist, angeblasen. 5. Die Zunge ist mit Ansprachsrohr und zugleich mit Windrohr versehen. In allen diesen Fällen ist der Grundton der Zunge verschieden.

Was die Verbindung der Zunge mit einem Windrohr betrifft, so ist der einfachste Fall zunächst zu untersuchen, wenn die Zunge ohne Anspruchsrohr ist, und sich am Ende des Windrohrs an ihrem Rahmen befindet. Die Veränderung der Töne bei verschiedener Länge des Windrohrs ist hier eine ganz ähnliche wie bei den Ansatzröhren verschiedener Länge. Bei Verlängerung des Windrohrs vertieft sich der Ton durch alle halben Töne bis zu einer gewissen Grenze, indem auch die Vertiefung keine Octave erreicht. Bei weiterer Verlängerung springt der Ton wieder zurück und wird hoch, vertieft sich von dort aus wieder mit fortschreitender Verlängerung, springt nochmals auf denselben hohen Ton zurück, vertieft sich von da an wieder, springt wieder zurück und so weiter. Doch findet keine vollkommene Uebereinstimmung zwischen den Längen eines Ansatzrohrs und eines Windrohrs, die zur Erzielung eines gewissen Tons nöthig sind, statt. Ich habe eine über eine Röhre von $\frac{1}{2}$ Zoll Länge gespannte einlippige Kautschuckzunge zu diesen Versuchen benutzt. Dem Rande der Zunge lag eine feste Holzplatte gegenüber, wie in der vorhergehenden Reihe der Versuche. Diese Zunge mit bestimmter gleichbleibender Stimmung wurde in dem einen Fall mit einem Ansatzrohr versehen und durch den Mund angeblasen, indem der Umfang des Rahmens mit den Lippen umfasst wurde; im zweiten Fall wurde dieselbe Zunge ohne Anspruchsrohr mit einem Windrohr angeblasen, das beliebig so wie im ersten Fall das Ansatzrohr verlängert werden könnte. Die folgende Tabelle enthält die Längen des Ansatzrohrs und Windrohrs, welche nöthig waren, um aus derselben gleichgestimmten Zunge dieselben Töne zu erhalten. Die Stimmung der Zunge allein war $\overline{h}$ (für den Anspruch mit dem Mund.)

Töne.	Windrohr ohne Ansatzrohr.	Töne.	Ansatzrohr ohne Windrohr.
$\overline{ais}$	4″ 6‴	$\overline{ais}$	1″ 2‴
$\overline{a}$	9″ 10‴	$\overline{a}$	2″
$\overline{gis}$	13″	$\overline{gis}$	3″ — 5″ 6‴
$\overline{g}$	15″ 6‴	$\overline{g}$	7″ 6‴
$\overline{fis}$	17″ 6‴	$\overline{fis}$	9″
$\overline{f}$	19″	$\overline{f}$	10″
	. . . .	$\overline{e}$	13″
	. . . .	$\overline{dis}$	17″

Töne.	Windrohr ohne Ansatzrohr.	Töne.	Ansatzrohr ohne Windrohr.
$\bar{f}$ u. $\overline{ais}$	20″ Sprung des Tons.		
	. . . .	$\overline{ais}$ +	22″ 4‴ Sprung d. Tons.
$\bar{a}$	24″ 6‴		
$\overline{gis}$	27″ 6‴		
$\bar{g}$	29″	$\bar{g}$	23″
$\overline{fis}$	32″	$\overline{fis}$	25″ 6‴
	. . . .	$\bar{f}$	27″ 6‴
	. . . .	$\bar{e}$	32″
	. . . .	$\overline{dis}$	39″ 6‴
$\bar{f}$ u. $\overline{ais}$	35″ Sprung des Tons.		
$\bar{a}$	37″		
$\overline{gis}$	42″		
$\bar{g}$	46″	$\bar{g}$	40″ $\overline{dis}$ springt auf $\bar{g}$.
	. . . .	$\overline{fis}$	42″
	. . . .	$\bar{f}$	45″

Bei einem zweiten vergleichenden Versuch erhielt ich folgende Resultate. Grundton der Zunge allein $\bar{\bar{e}}$.

		$\bar{\bar{e}}$	1″
		$\overline{\overline{dis}}$	3′
$\bar{\bar{d}}$	4″ 9‴	$\bar{\bar{d}}$	3″ 9‴
$\overline{\overline{cis}}$	6″	$\overline{\overline{cis}}$	4″ 9‴
$\bar{\bar{c}}$	7″ 6‴	$\bar{\bar{c}}$	5″ 6‴
$\bar{h}$	9″ 6‴	$\bar{h}$	6″ 2‴
		$\overline{ais}$	7″ 4‴
$\bar{a}$	10″	$\bar{a}$	10″
		$\bar{\bar{e}}$ — $\overline{\overline{dis}}$	13″ 6‴ Sprung.
$\bar{\bar{d}}$	15″ 9‴ Sprung. . .	$\bar{\bar{d}}$	15″
$\overline{\overline{cis}}$	18″ 9‴	$\overline{\overline{cis}}$	15″ 8‴
		$\bar{\bar{c}}$	17″ 6‴
$\bar{h}$	22″	$\bar{h}$	20″
		$\bar{a}$	24″
		$\overline{\overline{dis}}$	28″ Sprung.
$\bar{\bar{d}}$	24″ 9‴ Sprung. . .	$\bar{\bar{d}}$	29″ 6‴
$\bar{\bar{c}}$	30″ 6‴	$\bar{\bar{c}}$	30″
	Spricht nicht mehr an.	$\bar{h}$	30″ 6‴
		$\overline{ais}$	34″
		$\bar{a}$	35″.

Töne.	Windrohr ohne Ansatzrohr.	Töne.	Ansatzrohr ohne Windrohr.
		dis — e	41″ 6‴ Sprung.
		c	42″
		h	43″ 6‴

Endlich ist auch die Modification des Tons der Zunge durch Verengung des Windrohrs an dem einen oder andern Ende zu erwähnen. Wurde in einem kurzen Windrohr gegen das Ende, wo die Zunge, ein Stopfen angebracht, der in der Mitte durchbohrt allein den Luftstrom durchliess, so wurde dadurch der Ton höher. Dieser Einfluss wirkt wie die Verkürzung des Stimmrohrs.

Wurde hingegen die Verengung des Windrohrs an dem der Zunge entgegengesetzten Ende, wo die Lippen angesetzt wurden, angebracht, durch Verengung der Lippenöffnung, so wurde der Ton tiefer, wenn der Ton nicht durch die Länge des Windrohrs vertieft war; hatte das Windrohr den Ton sehr vertieft, so änderte die enge Lippenöffnung entweder nichts, oder erhob sogar den Ton ein wenig.

D. Membranöse Zungen mit Ansatzrohr und Windrohr.

Die Längen, welche Windrohr und Ansatzrohr allein haben müssen, um eine gewisse Vertiefung des Tones einer Zunge zu erhalten, sind nicht allein ungleich, es findet auch keine Compensation des einen durch das andere statt. Fände eine Compensation statt, so würde man, wenn eine Länge n des Ansatzrohrs mit der Zunge ohne Windrohr den Ton x giebt, eine kleinere Länge des Ansatzrohrs $n-a$, mit einem Windrohr a wieder den Ton x geben müssen. Dies ist aber nicht der Fall. z. B. eine Ansätzröhre von $12\frac{1}{2}$ Zoll gab mit der Zunge *fis*, wurden aber diese $12\frac{1}{2}$ Zoll Rohr auf $6\frac{1}{4}$ Ansatz und $6\frac{1}{4}$ Windrohr vertheilt, so war der Ton *gis*. Eine Ansätzröhre von $7\frac{1}{2}$ Zoll gab mit einer Zunge *ais*, diese $7\frac{1}{2}$ Zoll Rohr auf Ansatz und Windrohr vertheilt, gab *d*.

Mache ich Ansatz- und Windrohr jedes so lang, dass das Ansatzrohr mit der Zunge, (die Zunge vom Munde angeblasen) denselben Ton giebt, wie die Zunge mit dem vom andern Ende angeblasenen Windrohr allein, so giebt die Verbindung der Zunge mit dem Ansatz vorn, mit dem Windrohr hinten, jetzt denselben Ton. Dieser Versuch wurde oft wiederholt, das Resultat blieb sich gleich. Daraus und aus dem obigen scheint hervorzugehen, dass die Luftsäulen des Ansatzrohrs und des Windrohrs für sich bestimmend auf den Ton der Zunge einwirken, so dass, wenn Windrohr und Ansatzrohr mit der Zunge allein verschiedene Töne geben würden, sie auch verschieden bestimmend auf die Zunge wirken. Die Zungenpfeife wird also durch den Ansatz eines Windrohrs noch complicirter als sie durch den Ansatz des Ansatzrohrs schon geworden ist; und da bei jedem

Anspruch, geschehe er auch durch den Mund allein, oder durch einen Blasebalg, die Windlade immer schon als Windrohr zu betrachten ist, so ist bei dem einfachsten Versuch mit einer Zunge mit Ansatzrohr, die durch den Mund allein angesprochen wird, der Ton schon durch ein Windrohr modificirt. Die gegenseitige Einwirkung dieser Einflüsse zu kennen, wäre für die Theorie der Stimme von der grössten Wichtigkeit, da man hier mit einem Ansatzrohr (Raum vor den untern Stimmbändern) und einem Windrohr (Luftröhre und Bronchien) zugleich zu thun hat. Diess ist indess eines der schwierigsten Probleme der Akustik, und es hat mir durchaus nicht gelingen wollen, etwas, was einer Regel nahe käme, heraus zu bringen. Ich sehe nur die constante Bestätigung der Beobachtung, dass bei einer gewissen Länge des Ansatzrohrs, die Verlängerung des Windrohrs den Ton immer ändert, bis die gegenseitigen Einwirkungen gleich sind. Hat das Windrohr eine bestimmte Länge, und wird das Ansatzohr verlängert, so erhält man auch wieder eine Vertiefung bis zu einer bestimmten Grenze, bei weiterer Verlängerung springt der Ton wieder nach der frühern Höhe zurück, fällt jetzt nach der Verlängerung wieder bis zu einer Grenze und springt wieder, was sich regelmässig wiederholt. Einige der früher angeführten Versuche, bei denen die Zunge mit Ansatz durch ein kurzes Windrohr angesprochen wurde, gehören schon hieher.

Bei einem Mundstück von 6 Zoll Länge fiel der Grundton $\overline{\overline{d}}$ bei 4 Zoll Ansatz auf $\overline{\overline{cis}}$, bei $4\frac{1}{2}$ Zoll war er wieder $\overline{\overline{dis}}$, fiel bei 5 Zoll und erreichte $\overline{\overline{d}}$ vor 6 Zoll. Von 6 Zoll fiel der Ton wieder und war bei $8\frac{1}{2}$ Zoll $\overline{\overline{cis}}$, was bis $16\frac{1}{2}$ Zoll blieb. Bei $16\frac{1}{2}$ Zoll stieg der Ton wieder auf $\overline{\overline{d}}$, bei 18 bis 24 Zoll war der Ton wieder tiefer $\overline{\overline{cis}}$, bei $27\frac{1}{2}$ Zoll stieg er wieder auf $\overline{\overline{d}}$, bei $32\frac{1}{2}$ war er wieder gefallen $\overline{\overline{cis}}$, so blieb er bis 4 Fuss.

E. Musikalische Instrumente mit membranösen Zungen.

Die bisher erläuterten künstlichen Vorrichtungen bilden eine eigene Abtheilung der Zungenwerke, wovon indess bis jetzt kein Gebrauch in der Musik gemacht wurde. In dieselbe Kategorie gehört, wie wir sehen werden, das menschliche Stimmorgan und das Stimmorgan der Vögel. Bei dem ersten sind die Stimmbänder zweilippige Zungen. Das Ansatzrohr ist der Raum von den unteren Stimmbändern bis zur Mund- und Nasenöffnung, das Windrohr Luftröhre und Bronchien. Am Stimmorgan der Vögel bilden die Stimmbänder des untern Kehlkopfes an der Theilungsstelle der Luftröhre jederseits Zungen. Die Luftsäule des Ansatzrohrs ist hier die Luftmasse der ganzen Luftröhre von der Theilungsstelle an, bis zur Kehle, und die Luft der Mundhöhle. Die Luftsäule des Windrohrs ist hier hingegen bloss die Luft der Bronchien von der Theilungsstelle der Luftröhre bis zu den Lungen.

Aber auch die Lippen des Menschen können als Zungen wir-

ken, wenn sie eine Spannung erhalten durch Muscularcontraction; an und für sich unelastisch erhalten sie ein Aequivalent der Elasticität durch die Muscularcontraction des Sphincters. Presst man die Luft zwischen den durch den Sphincter in Tension gebrachten Lippen durch, so entstehen Töne, welche in die Classe der Zungentöne gehören. Die Mundhöhle und die Athemwerkzeuge bilden hier das Windrohr. Das Instrument ist ein Zungenwerk mit Windrohr ohne Ansatzrohr. Fügt man den Lippen ein Ansatzrohr von Pappe oder Metall an, so wird der Ton nicht allein klangreicher, sondern kann auch durch das Rohr modificirt werden.

Am Sphincter ani findet dasselbe statt. Er bringt die Haut des Afters in Tension und wirkt wie eine Zunge mit Windrohr (Gase im Mastdarm) ohne Ansatzrohr.

An die bisher erläuterten Zungenwerke mit membranöser Zunge schliessen sich die Trompeten und Hörner an, bei welchen die Lippen durch Blasen als membranöse Zungen in Bewegung gesetzt werden, während die Luftsäule des Rohrs wie bei den Zungenwerken mitschwingt Bei den übrigen Blasinstrumenten, die unter die Zungenwerke gehören, ist die Zunge ein besonderes Stück, welches vom Instrument abgenommen noch Töne für sich giebt. Bei den Hörnern, Trompeten, Posaunen lässt sich auf dem sogenannten Mundstück allein durch blosses Anblasen kein Ton hervorbringen. Vielmehr müssen die Lippen selbst dergleichen Zungenstücke der Trompeten und Hörner zu einer Zunge ergänzen, und die Lippen sind hier die membranösen Zungen, zwischen welchen der Strom der Luft durchgepresst wird. Ihr Sphincter ersetzt diesen häutigen Theilen die Elasticität durch seine Reaction gegen die fein durchströmende Luft; es entstehen Töne von ganz bestimmtem Werthe, und diese Töne sind höher, je stärker sich die Lippen zusammenziehen. Es scheint zwar, als wenn die Grösse der Oeffnung auf den Ton dieser Zungen, wie auch beim Mundpfeifen, einen Einfluss hätte, und in der That wird der Mundpfeifenton, welcher nicht hieher zu gehören scheint, bei grösserer Lippenöffnung tiefer. Da indess mit engerer Lippenöffnung eine grössere Zusammenziehung des Sphincter oris stattfindet, so bewirkt, bei der Stellung der Lippen zum Trompetenblasen, die engere Oeffnung ganz dasselbe, was an den elastischen membranösen Zungen die stärkere Spannung thut.

Das Mundstück der Trompete ist am Anfang becherförmig ausgehöhlt, worauf es sich verengt. Der Rand dieser Höhlung wird beim Blasen auf die Lippen aufgesetzt und die Luft durch die enge Lippenöffnung, deren Ränder durch den Sphincter eine bestimmte Tension haben, durchgetrieben. Die Höhe des Tons muss zunehmen mit der Stärke der Tension der Lippen, welche sie durch die Zusammenziehung des Sphincters erhalten. Vor den Lippen muss ein freier Raum seyn, denn sonst würde ihr gespannter Rand nicht wie ein Zungenblatt wirken können. Wird daher die Höhle des Mundstücks an der becherförmigen Aushöhlung des Mundstücks

ausgefüllt bis auf einen mittlern engen Durchgang, so geben die fest angedrückten Lippen beim Blasen keinen Ton mehr. Dass diess die wesentliche Ursache des Tons der Trompete ist, sieht man daran, dass man auch ohne Mundstück der Trompete auf den blossen durch die Zusammenziehung des Sphincters in Tension gebrachten Lippen einen trompetenähnlichen Ton hervorbringen kann. Ja selbst eine einzige Lippe ist hinreichend, Bebungen hervorzubringen, die als Ton gehört werden; z. B. wenn man die Oberlippe weit über die Unterlippe herüberlegt und nun die Luft zwischen der vibrirenden Oberlippe und festen Oberfläche der Unterlippe durchtreibt. Das Mundstück des Horns unterscheidet sich von dem der Trompete noch, dass an ihm sich vorn keine becherförmige sondern eine conische Aushöhlung befindet, sonst ist der Ansatz der Lippen an das Mundstück ähnlich wie bei der Trompete; der Lippenrand darf nicht aufliegen.

Biot handelt die Trompeten und Hörner bei den Flötenwerken ab, und erklärt die verschiedenen Töne, welche sie angeben, aus der verschiedenen Stärke des Anblasens der Luftsäule der Trompete, so wie die Luftsäule einer Pfeife bei stärkerm Blasen die mit den Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 (offen) oder 1, 3, 5, 7, (gedeckt) giebt. Allein die Stärke des Blasens hebt hier den Ton wenig und macht ihn nur stärker; die Verschiedenheit der Töne hängt von der Tension der Lippen ab. Die Trompeten und Hörner müssen richtiger, wie Muncke thut, zu den Zungenwerken gerechnet werden und sind, wie aus dem Vorhergehenden erhellt, offenbar Zungenpfeifen mit membranöser Zunge, wobei das Timbre des Tons durch das Metall des Ansatzrohrs und die Höhe des Tons des Mundstücks durch die mittönende Luftsäule des Ansatzrohrs verändert wird. Die Töne der Trompete und des Horns nehmen auch nicht an Höhe mit der Länge des Rohrs im umgekehrten Verhältnisse ab, wie bei den Flötenwerken, vielmehr hat die Verminderung oder Vermehrung der Länge des Rohrs bei den Trompeten bekanntlich nur einen geringern und untergeordneten Einfluss auf die Höhe des Tons, gerade so wie bei den Zungenpfeifen. Die hiedurch zu erzielende Veränderung des Tons wird bei den Trompeten und Hörnern durch eingesetzte Einschiebsel, bei den Posaunen durch Ausziehen ihrer verschiebbaren Röhre bewirkt. Man hat bei den Hörnern und Trompeten fast so viele Einschiebsel als Tonarten. Dagegen lässt sich die Höhe des Tons dieser Instrumente durch zwei andere Mittel wie bei den Zungenpfeifen ändern; erstens durch verschiedene Tension der Lippen, mit deren Tension die Höhe des Tons so zunehmen muss, wie wenn man an einer Zungenpfeife mit membranöser Zunge die Membran stärker spannt; zweitens lässt sich der Ton durch Verstopfen gerade so wie bei den Zungenwerken mit membranöser Zunge vertiefen.

Das Horn umfasst bei einem geübten Bläser 3 Octaven, in dieser Folge ohne Stopfen *C G, c e g,* $\bar{c}\ \bar{d}\ \bar{e}\ \bar{g}\ \bar{h}\ \bar{\bar{c}}$; die ganze

Tonfolge mit den durch Stopfen hervorzubringenden Tönen ist $C\ \underset{*}{F}\ G\ \underset{*}{H}\ c\ \underset{*}{d}\ e\ \underset{*}{f}\ g\ \underset{h*}{a}\ \underset{*}{h}\ \bar{c}\ \bar{d}\ \bar{e}\ \underset{*}{\bar{f}}\ \bar{g}\ \underset{*}{\bar{a}}\ \bar{h}\ \bar{\bar{c}}$. Das Sternchen bedeutet, dass der Ton durch Stopfung hervorgebracht wird, h* halbe Stopfung. Die halben Töne können zum Theil noch durch halbe Stopfung hervorgebracht werden. Da das Hauptmittel Spannung der Lippen durch Muskelcontraction ist, so verliert der Bläser durch lange Anstrengung auf einige Zeit die Fähigkeit. Die Anstrengung ist bei den hohen Tönen am stärksten, nicht wegen Stärke des Blasens, sondern wegen Spannung der Lippen.

Die in neuerer Zeit an den Trompeten und Hörnern angebrachten, durch Klappen zu verschliessenden Seitenlöcher haben hier eine ganz ähnliche Bedeutung wie bei anderen Zungenwerken, den Clarinetten, Hoboen und dem Fagot.

Schlussbemerkungen über die Theorie der Zungentöne.

Nachdem die verschiedenen Arten der Zungenwerke, sowohl die mit steif elastischen als die mit membranösen elastischen Zungen untersucht worden, ist hier der Ort, auf die Theorie der durch Zungen hervorgebrachten Töne zurückzukommen. Es handelt sich hier jedoch nicht um die Schwingungen der Luft in dem Ansatzrohr, sondern um die an der einfachen Zunge selbst.

Da in neuerer Zeit die durch blosse Pulsus von Flüssigkeiten auf der Sirene, oder durch schnell folgende Stösse eines festen Körpers, wie durch die Stösse der Zähne eines Rades hervorgebrachten Töne bekannt geworden, hat man sich zu der Ansicht geneigt, dass auch die Töne der Zungen durch Stösse der Luft entstehen, indem die Zunge den Austritt der Luft aus dem Rahmen der Zunge bei jeder Schwingung unterbricht. Der Umstand, dass die durch Anstoss oder Zerrung an Zungen ohne Blasen erregten Töne klanglos sind, scheint diese Ansicht zu rechtfertigen, indess ist diese Theorie keineswegs erwiesen und mehrere Gründe sprechen entschieden dagegen. Die Erörterung dieses Gegenstandes ist für die Theorie der menschlichen Stimme von grosser Wichtigkeit, es fragt sich nämlich hier zumal, was beim Tonangeben der Stimme primitiv tönt, die Bänder der Stimmritze oder die Luft.

W. Weber, dessen classischen Untersuchungen wir eine sichere Kenntniss der Wirkungen in den Zungenpfeifen verdanken, spricht sich bestimmt für jene Ansicht aus. Poggend. *Ann. XVI.* 421. Er sagt: Der volle und starke Ton einer isolirt in ihrem Rahmen ohne Ansatz schwingenden metallenen Platte beim Blasen kann nicht von der schwingenden Platte hervorgebracht seyn; denn in diesem Fall würde es nicht nöthig gewesen seyn, den Ton der Platte durch einen Luftstrom zu erregen, sondern sie würde einen in Hinsicht der Höhe und des Klanges ganz gleichen Ton gegeben haben, wenn sie, ohne in ihrer Lage und Verbindung geändert zu werden, auf irgend eine andere Weise in Schwingung gesetzt wird, was aber nicht der Fall ist. Denn Weber hat die Platte, während sie mit den übrigen Theilen des

Instrumentes verbunden blieb, durch Streichen mit dem Violinbogen in die heftigste Schwingung gesetzt, ohne im Stande zu seyn einen mit jenem vollen und starken irgend vergleichbaren Ton hervorzubringen; indess finde ich den Ton einer Maultrommel am Munde beim Anschlagen und beim Einziehen der Luft gleich. Jener Beweis scheint mir nicht entscheidend, und mir scheinen jedenfalls bei den membranösen Zungen, die Unterbrechung des Luftstroms oder die Stösse nur einen untergeordneten Einfluss bei dem Tongeben zu haben, und nur den Ton mehr zu verstärken und voller zu machen als ihn zu bilden.

Ich halte die Erklärung der Zungentöne der membranösen Zungen aus pulsus der Luft für unwahrscheinlich aus folgenden Gründen.

1. Es ist kein Grund vorhanden, die Töne der einfachen Zungen von den Unterbrechungen des Luftstroms abzuleiten, da die Töne, welche die Zungen selbst bei ihren Schwingungen angeben müssen, allein zur Erklärung der Zungentöne hinreichen. Es ist zwar bemerkt, dass die Töne der membranösen Zungen, welche durch Anstoss bewirkt werden, klanglos sind, und sich auch im Timbre von den Zungentönen unterscheiden. Der erste Unterschied lässt sich aber hinreichend daraus erklären, dass der blosse einmalige Anstoss nicht zur Unterhaltung der Schwingungen hinreicht. Was den Unterschied des Timbre's anbelangt, so ist dieser zwar nicht zu läugnen. Indessen geben auch andere Instrumente Töne von verschiedenem Timbre, wenn sie in dem einen Fall durch einmaligen Anstoss, im zweiten Fall durch fortdauernde Stösse angesprochen werden. Der Ton einer Saite ist z. B. im Klang verschieden, wenn sie durch Zerrung einmal oder durch Streichen mit dem Fidelbogen angeregt wird, und so unterscheiden sich auch die Zungentöne, wenn der Anstoss momentan oder dauernd ist. Manche Membranen geben zwar durch Anstoss gar keine Töne, wie die Lippen, der Sphincter ani und geben beim Anblasen starke Zungentöne. Es kömmt jedoch für Entstehung eines Tons nur auf die erforderliche Anzahl der Bebungen an; und aus jener Erfahrung folgt nur, dass die regelmässige Folge der Bebungen an solchen Membranen bloss möglich ist, wenn solche schlaffe Membranen beim Stossen durch die Luft auch zugleich einigermassen ausgespannt erhalten werden, was beim blossen Anstoss sogleich wegfällt.

2. Die von mir auf den dünnen metallischen und noch besser auf membranösen Zungen ohne Rahmen durch Anblasen mit einem feinen Röhrchen erzeugten Töne lassen sich nicht durch Unterbrechungen des Luftstroms allein erklären, sind aber im Timbre ganz mit den Tönen dieser metallischen und membranösen Zungen übereinstimmend, wenn sie in einem Rahmen als wirkliche Zungen schwingen. Es liesse sich zwar hier anführen, dass auch der Luftstrom aus dem feinen Röhrchen bei den Rückschwingungen der Zunge einigermassen gehindert werde. Aber diess kann man schwerlich eine Unterbrechung nennen, da der Luftstrom in dem Maass in anderer Richtung abgeht, als die

Zunge zurückkehrt. Der feine Luftstrom ist vielmehr als fortdauernd wirkendes Ansprachsorgan ganz dasselbe, was der Fidelbogen bei der Saite ist.

3. Es ist auch nicht nöthig, dass der Rahmen bei den Schwingungen einer Zunge periodisch geschlossen werde; wenigstens bei den membranösen Zungen. Selbst bei einer bleibenden Breite der Spalte von 1 Lin. geben die membranösen Zungen oft noch klare Töne an, und diese Töne sind nicht im Timbre verschieden von denjenigen, welche dieselben Zungen bei ganz enger Spalte geben.

4. Ist die Erklärung der Zungentöne von den Unterbrechungen des Luftstroms richtig, so müssen die Töne im geraden Verhältniss mit der Zahl der Unterbrechungen zunehmen, was keineswegs erwiesen ist. Es giebt eine Stellung der Zunge gegen den Rahmen, wo sie gerade noch einmal so viel Unterbrechungen des Luftstroms bewirkt, als sie selbst Schwingungen macht, wenn sie nämlich durch die Oeffnung des Rahmens durchschlägt; auf dem Weg durch den Rahmen und wieder zurück, unterbricht sie zweimal den Luftstrom; die Zahl dieser Unterbrechungen ist wenigstens doppelt so gross, als wenn die Zunge nicht durchschlägt, sondern bloss einschlägt, d. h. nur bis in die Oeffnung des Rahmens schlägt und dann sogleich zurückkehrt. Der Ton einer durchschlagenden Zunge müsste daher ceteris paribus um eine Octave höher seyn, als der Ton derselben Zunge als einschlagenden, was nicht der Fall ist. Man könnte zwar hierauf erwiedern, dass eine durchschlagende Zunge ganze Schwingungsbogen mache, eine vor dem Rahmen schwingende nur halbe Schwingungsbogen mache, indem sie entweder von dem Rahmen selbst oder von dem Strom der Luft aufgehalten werde, so dass die letztere noch einmal so schnell als die erstere schwinge und die Unterbrechungen des Luftstroms bei beiden gleich bleiben; allein bei Untersuchung der Verhältnisse der membranösen Zungen zeigen sich wieder Schwierigkeiten. Lege ich gegen eine membranöse Zunge, die auf dem Ende eines Windrohrs ausgespannt ist, eine feste Platte von Pappe oder Holz, so ist der Ton derselbe, mag die feste Platte gerade der Zunge gegenüber, d. h. in einer Ebene mit derselben seyn, oder nach einwärts gegen das Windrohr gedrückt werden. In diesem Fall macht die Zunge so gut ganze Bogen, wie wenn die Zunge in einer Ebene mit der festen Platte liegt. Wird aber die Platte so aufgelegt, dass ihr Rand vor der Ebene der Zunge liegt, so ist der Ton vom Windrohr aus erregt, viel tiefer, oft um das Intervall von *c* und *f* tiefer. Mag die feste Platte vor oder hinter der Zunge vorragen, die Schwingungsbogen werden sich gleich bleiben und doch sind die Töne verschieden. Dieser Unterschied hängt aber von der verschiedenen Art des Anspruchs der Luft in dem einen und andern Fall und von dem verschiedenen Widerstand ab, den der continuirliche Luftstrom in beiden Fällen der rückkehrend schwingenden Zunge darbietet.

Aus diesen Gründen wird es wahrscheinlich, dass die Zungen nicht durch Unterbrechungen des Luftstroms, sondern durch ihre

Eigenschwingungen tönen und dass die der Luft mitgetheilten Stösse den Ton nur einigermassen verstärken. Die metallischen Zungen verhalten sich dabei im Allgemeinen wie die Stäbe, die membranösen wie die Saiten und Felle, und der Ton entsteht um so leichter, je mehr ein solcher Körper noch bei grosser Kürze Elasticität besitzt. Man hat sich bei dem Studium der Schwingungen gespannter elastischer Körper viel zu sehr an die eine Species solcher Körper, die Darmsaiten und ähnliche gehalten. Diese verlieren allerdings bei bedeutender Verkürzung mit gleichzeitiger Abspannung fast alle Fähigkeit zu klangvollen Schwingungen. Hätten abgespannte Saiten noch Elasticität, so würden auch noch ganz kurze Saiten tiefe Töne geben können. Andere elastische Körper behalten aber bei grosser Abspannung noch Elasticität genug, um regelmässig schwingen zu können, wie Kautschuck im trocknen Zustande und elastisches thierisches Gewebe (wie Arterienhaut) im nassen Zustande, und man kann daher an ganz kurzen Stücken solcher Körper noch tiefe Töne bei geringer Spannung und hohe Töne bei starker Spannung, beides sowohl durch Anstoss als Blasen hervorbringen. Die Schwingungen dieser Körper ändern sich bei gleicher Spannung ganz wie die der Saiten, d. h. nehmen zu im umgekehrten Verhältniss der Länge, wie oben gezeigt wurde.

So richtig dieser Vergleich ist, so weicht doch ein durch Spannung elastischer Körper, wenn er als Zunge schwingt, in mehreren wesentlichen Puncten von einer Saite ab. Nicht bloss darin, dass die Saite beim blossen Anstoss sich selbst überlassen bleibt, beim Anblasen die Zunge aber fortdauernd gestossen, bald mehr, bald weniger gestossen wird, denn auch der Anstoss der Saite durch einen Fidelbogen erneuert sich fortwährend. Das Eigenthümliche einer Zunge besteht eben darin, dass der anhaltende Stoss bei verschiedener Stärke Einwirkungen auf die Dauer der Schwingungen der Zunge hat und den Grundton, den die Zunge beim Anstoss giebt, bedeutend verändert. Ich habe oben gezeigt, dass eine Kautschuckzunge selbst mit einem feinen Röhrchen ohne allen Rahmen angesprochen, ihren Grundton um einen halben Ton und mehr erhebt, wenn der Anspruch stärker wird. Eine Saite tönt aber bei starkem einmaligen Anstoss etwas tiefer (siehe oben p. 155.) als bei schwachem einmaligen Anstoss. Diese letztere Wirkung lässt sich theils aus der Veränderung der Saite durch die starke Dehnung erklären, indem sie länger geworden, nicht sogleich ihren vorigen Zustand wieder annimmt; theils kömmt auch hier vielleicht ein Herüberziehen von Theilchen der Saite, die auf dem Steg liegen, in Betracht. Bei dem Höherwerden des Tons einer Zunge ist diese Erklärung aber unanwendbar; denn der Erfolg ist gerade der entgegengesetzte wie bei der Saite. Bei einer in einem Rahmen schwingenden membranösen Zunge erhöht die Stärke des Blasens den Ton noch mehr, und wie oben gezeigt wurde, um mehrere halbe Töne, und bei nassen elastischen, thierischen Membranen lässt sich der Ton, wie ich zeigte, durch starkes Blasen durch die halben Töne um eine ganze Quinte in die Höhe treiben. Diese Erhöhung ist

keine Folge der Bildung von Schwingungsknoten, wie bei einer tönenden Luftsäule, denn sie erfolgt ganz successiv durch die Intervalle der halben Töne, und wenn man successiv stärker bläst, durch alle Zwischenstufen der halben Töne auf heulende Art; sie hängt also nicht von der Zunge zunächst, sondern von dem stossenden Körper, der Luft ab. Wahrscheinlich kömmt die Erhöhung dadurch zu Stande, dass die Luft bei stärkerm Blasen, da sie fortdauernd wirkt, der Zunge eine mehr beschleunigte Bewegung mittheilt, bis diese aus dem Strome gelangt, dagegen bei der Rückschwingung die Saite früher als bei schwachem Antrieb wieder forttreibt, so dass die Zunge keine vollen rückkehrenden Excursionen macht, sondern vor Vollendung derselben wieder abgetrieben wird.

Die metallischen Zungen verhalten sich zwar dem Anschein nach umgekehrt wie die membranösen, indem sie bei schwachem Blasen höher tönen als bei stärkerm Blasen. Weber, Poggend. *Ann.* *XVII.* Diess scheint mir indess bloss davon abzuhängen, dass bei schwachem Blasen nicht die ganze Länge der Zunge bis zu der Befestigung in Schwingung gesetzt wird. Denn wenn ich die Zunge einer Mundharmonica sehr stark anblase, so erhebt sich der Ton zuletzt wieder ganz merklich, so dass hierin wieder beide Zungenarten übereinstimmen.

Es gehört daher zur Natur der Zungen, dass, obgleich sie sich im Allgemeinen wie die Stäbe und Saiten verhalten, sie doch ihre Töne nach Maassgabe der Wirkung des ansprechenden Körpers, der Luft verändern, und müssen die Zungen hiernach immer als eine besondere Classe der Tonwerkzeuge betrachtet werden, bei denen die Eigenschaften der festen und flüssigen elastischen Körper zugleich in Betracht kommen.

Die übrigen Tonwerkzeuge zeigen uns nur in einigen Puncten Annäherungen zu den Zungen, in sofern die Töne auch einigermassen von dem stossenden Körper abhängig werden, besonders wenn dieser anhaltend wirkt. Eine solche Annäherung zeigt sich bei den Saiten, wenn sie anhaltend mit dem Fidelbogen angesprochen werden. Duhamel (*L'institut* 186.) zeigt, wie man bei einer gewissen Führung des Fidelbogens durch Veränderung der Reibung und Schnelligkeit auch tiefere Töne als den Grundton erhalten kann. Er will nämlich die Secunde, Quarte, Quinte, Duodezime und Quatuordezime unter dem gewöhnlichen Grundton der Saite erhalten haben. Vergl. Pelisow in Poggend. *Ann.* *XIX.* 251. Ein anderes Beispiel entgegengesetzter Art kann ich selbst aus meiner Erfahrung von den Labialpfeifen anführen. Man kann bekanntlich durch stärkeres Blasen an einer offenen Pfeife die den Zahlen 1, 3, 5, 7, 9 u. s. w. entsprechenden, an einer gedeckten die den Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6 entsprechenden Töne hervorbringen. Diese Töne entstehen durch Bildung von Schwingungsknoten in der Luftsäule der Pfeife und gehören nicht hieher. Eine ganz andere Erhöhung des Tons habe ich aber an hinreichend kleinen Labialpfeifen bemerkt. Stosse ich den Stempel einer einfüssigen Pfeife bis auf 2 Zoll ein, so giebt die zweizöllige Pfeife bei Verstärkung des Blasens vom schwächsten bis stärksten Anspruch suc-

cessiv durch alle Nüancen alle Töne das ganzen Intervalls von *c—f*, und wende ich eine einzöllige Pfeife an, so geht das Steigern noch viel höher. Bei den Zungen kommen zu der Steigerung der Töne durch Verstärkung des Blasens noch andere Modificationen der Höhe der Töne durch den stossenden Körper hinzu, wie z. B. die Veränderung des Tones in der Höhe, je nachdem die Zunge ohne Rahmen durch ein Röhrchen oder in einem Rahmen durch ein Windrohr angesprochen wird, die Modification der Töne durch Ausstossen und Einziehen der Luft, durch die Art des Anspruchs, wie z. B. die Töne bei derselben Zunge um einige halbe Töne vertieft werden, wenn man das Windrohr mit enger Lippenöffnung anspricht, dagegen erhöht werden, wenn im Windrohr vor der Zunge ein Stopfen liegt, welcher den Durchgang der Luft nur in der Mitte durchlässt. Siehe oben p. 170. Alle diese Modificationen lassen sich ohne Zweifel darauf zurückführen, dass die Art der Einwirkung des stossenden Körpers auf die Zunge verandert wird.

II. Capitel. Von der Stimme, vom Stimmorgan und anderen Tonwerkzeugen der Menschen und Thiere.

Die vorhergehenden Untersuchungen geben uns eine Grundlage, um die Mittel, welche bei der Stimme des Menschen und bei der Bildung anderer Töne von Seiten des Menschen und der Thiere mitwirken, richtig zu beurtheilen. Wir werden hauptsächlich drei Hauptformationen musicalischer Töne betrachten. 1. Die Stimme des Menschen und der Säugethiere, 2. die Mundtöne des Menschen, 3. die Stimme der Vögel. Das Tongeben geschieht nämlich bei diesen drei Arten des Tönens durch andere Hülfsmittel und an verschiedenem Orte. Die verschiedenen Töne der Stimme der Säugethiere entstehen im Kehlkopf und werden durch die vor dem Kehlkopf liegenden Theile, durch welche die Luft durchgeht, im Timbre und Ton etwas modificirt. Im Mundpfeifen besitzt der Mensch ein ganz anderes Register von Tönen, deren Quelle in den Lippen und der Luft der Mundhöhle liegt. Die Stimme der Vögel entsteht wieder an einem andern Ort, nicht im obern Kehlkopf, sondern in dem am untern Ende der Luftröhre liegenden untern Kehlkopf, an der Theilungsstelle der Luftröhre. Die Stimme der wenigen übrigen Wirbelthiere unter den Vögeln, welche noch eine Stimme haben, bildet sich wieder im eigentlichen Kehlkopf, wie beim Menschen und den Säugethieren; dahin gehört z. B. die Stimme der Frösche, Kröten u. a. Ausser den allgemein verbreiteten Stimmorganen giebt es noch einzelne Organe zum Tönen bei gewissen, auch den niederen Thieren, deren Untersuchung als zu weit von unserm Ziele abführend, hier ausgeschlossen wird. Ueber die Stimme des Menschen haben geschrieben: Dodart, *mém. de l'acad. de Paris* 1700. 1706. 1707. Ferrein Ebend. 1741. Magendie, *précis élément. de physiol.* Biot, *traité. T. II. p.* 190. Vergl. Fechner in Biot's *Experimentalphysik. II.* 149. Savart in Magendie *J. de physiol. V.* Liscovius *Theo-*

rie der Stimme. Leipz. 1814. Chladni in Gilb. *Ann. LXXVI.* 187. Mayer in Meckel's *Archiv.* 1826. Bennati, *recherches sur le mecanisme de la voix humaine. Paris* 1832. Muncke in Gehler's *physik. Wörterb. VIII.* 373. Mayo in *Outlines of human physiology.* Ch. Bell, *Philos. Trans.* 1832. 2. Malgaigne, *arch. gen. de med.* 25. Auszug von Heusinger in Magendie's *Handb. d. Physiol.* R. Willis, *Transact. of the Cambridge phil. soc. IV.* 1833. Bishop in *Lond. a. Edinb. philos. Mag.* 1836. Lehfeldt, *Diss. de vocis formatione. Berol.* 1835. Ueber die Stimme der Vögel Cuvier, *vergl. Anat. Bd. III.* Savart, Fror. *Not.* 331. 332.

I. Von der Stimme des Menschen.

A. Von dem menschlichen Stimmorgan im Allgemeinen.

Wenn eine Frage in der Erklärung der menschlichen Stimme mit Bestimmtheit sogleich beantwortet werden kann, so ist es die, in welchem Theile der Luftwege die Stimme gebildet wird. Sowohl die Beobachtungen an lebenden Menschen, als die Versuche an Kehlköpfen aus menschlichen Leichen zeigen, dass die Stimme in der Stimmritze und weder über ihr noch unter ihr in der Luftröhre gebildet wird. Befindet sich eine Oeffnung in der Luftröhre eines Menschen oder macht man eine solche bei einem Säugethier, so hört die Stimme auf und kehrt mit der Verschliessung der Oeffnung wieder. Diess ist eine Erfahrung, die sehr oft gemacht worden und fest steht. Dagegen hebt eine Oeffnung über der Stimmritze im obern Theil der Luftwege die Stimme nicht auf. Magendie hat sich auch überzeugt, dass die Stimme fortdauert, wenn der Kehldeckel, die oberen Stimmbänder und der obere Theil der Cartilagines arytaenoideae verletzt sind. Derselbe Beobachter hat sich an lebenden Thieren, deren Stimmritze blossgelegt wurde, überzeugt, dass die Stimmbänder, welche die Stimmritze einschliessen, beim Tonangeben in Schwingungen gerathen. Ebenso weiss man, dass die Verletzung der Kehlkopfnerven, von welchen die kleinen Muskeln abhängig sind, welche die Stimmritze verändern und die Stimmbänder spannen, auch die Bildung der Töne aufhebt, und dass diese Lähmung vollständig ist, wenn beide Kehlkopfnerven auf beiden Seiten verletzt sind. Versucht man am Kehlkopf von menschlichen Leichen durch Anblasen von der Luftröhre her Töne zu erzeugen, was bei einiger Spannung der Stimmbänder und enger Stimmritze dem Ungeübtesten gelingt, so erfolgen die Töne, mag das Stück der Luftröhre, welches als Anspruchsrohr dient, lang oder kurz seyn, mag es ganz fehlen und der Anspruch am untern Ende des Kehlkopfs selbst geschehen. Dergleichen ausgeschnittene Kehlköpfe kann man von allen vor der Stimmritze liegenden Theilen befreien: Man kann den Kehldekkel, die oberen Stimmbänder, die Ventrikel zwischen den oberen und unteren Stimmbändern, den grössern obern Theil der Cartilagines arytenoideae wegnehmen, wenn nur die Stimmritze zwischen den unteren Stimmbändern noch vorhanden, so giebt das Stimmorgan reine Töne beim Anblasen durch die Luftröhre, sobald nur die Stimmritze eng ist. Aus allem diesem folgt, dass

die wesentliche Ursache der Stimme in der Stimmritze und ihrer nächsten Begrenzung durch die unteren Stimmbänder liegt, dass sich die Luftröhre als Windlade eines durch Blasen angesprochenen Tonwerkzeuges, das Rohr vor der Stimmritze aber mit Inbegriff des obern Theils der Kehlkopfhöhle, zwischen den Ventriculi Morgagni, den unteren und oberen Stimmbändern und dem Kehldeckel bis zur Mund- und Nasenöffnung als Ansatzrohr eines Tonwerkzeuges verhält, durch welches der Ton zwar modificirt, aber nicht erzeugt wird. Hierin unterscheidet sich das Stimmorgan des Menschen und der Säugethiere wesentlich von dem der Vögel. Bei den letzteren wird die Stimme in dem ihnen eigenthümlichen untern Kehlkopf an der Theilungsstelle der Luftröhre erzeugt, der obere Kehlkopf hat keine Stimmbänder, an ihm lässt sich kein Ton hervorbringen; dagegen tönt der untere Kehlkopf der Vögel, wenn man ihre Luftröhre geöffnet oder durchschnitten hat und nach aussen leitet, fort, und durch Anblasen des ausgeschnittenen untern Kehlkopfes durch die Bronchien lassen sich ebenso Töne hervorbringen, wie durch Anblasen des menschlichen Kehlkopfes. Bei den Vögeln sind also nur die Bronchien als Windlade oder Anspruchsrohr zu betrachten; dagegen gehört hier die ganze Luftröhre vom untern Kehlkopf an mit dem obern Kehlkopf und der Mundhöhle und Nasenhöhle zum Ansatzrohr.

Die Begrenzungen der Stimmritze, die Stimmbänder des Menschen nehmen unsere Aufmerksamkeit zuerst in Anspruch. Sie sind elastisch und durch die Bewegung des Schildknorpels gegen den Ringknorpel durch die Musculi crico-thyreoidei, so wie durch Bewegung der Cartilagines arytenoideae vermöge der Musc. crico-arytenoidei postici (bei gleichzeitiger Annäherung jener Knorpel durch die Musc. arytenoidei proprii) nach rückwärts verschiedener Spannung fähig; sey es, dass die letzteren die Cartilagines arytenoideae fixiren und die ersteren spannen, oder dass diese fixiren und jene spannen. Je nach dem Grade dieser Spannung wird die Stimmritze länger oder kürzer. Die Stimmritze wird enger durch die Annäherung der Cartilagines arytenoideae vermöge der Musculi arytenoidei proprii, sie wird weiter durch die Entfernung dieser Knorpel vermöge der Musculi crico-arytenoidei postici. Die Elasticität der Stimmbänder macht dieselben zu regelmässigen Schwingungen nach Analogie der an zwei Enden gespannten Membranen fähig (siehe oben p. 150.). Die Elasticität dieser Bänder rührt von ihrer Zusammensetzung aus dem auch an vielen anderen Theilen des thierischen Körpers vorkommenden eigenthümlichen elastischen Gewebe her. Diess Fasergewebe zeichnet sich vor allen übrigen nicht bloss durch seine gelbe Farbe, sondern hauptsächlich durch seine Fasern aus, die einzigen bis jetzt bekannten Fasern, welche nach den Beobachtungen von Lauth (Muell. *Arch.* 1835. *p.* 4.) und Schwann (Eulenberg, *de tela elastica. Berol.* 1836. Muell. *Arch.* 1836. *Jahresb. XXV.*) sich theilen und anastomosiren. Die Structur des elastischen Gewebes verhält sich im Wesentlichen überall gleich, wo es vorkömmt; im Ligamentum nuchae der Säugethiere, in den Liga-

menta flava der Wirbelbogen, in den gelben Längsfasern der Luftröhre des Menschen und der Säugethiere, in dem Ligamentum stilohyoideum, im elastischen Bande der Flughaut der Vögel, im Kehlsack des Pelecans, in den elastischen Bändern des Nagelgliedes der Katzen, im elastischen Körper, welcher die Ruthe des Strausses krümmt, im elastischen Bande, welches die ausstülpbare Ruthe der Enten und Gänse, der Rhea americana und der Casuare zurückzieht. Endlich hat diess Gewebe seine grösste und allgemeinste Verbreitung in allen Classen der Wirbelthiere in der mittlern Haut der Arterien. Auch die chemischen Eigenschaften dieses Gewebes bleiben sich gleich. Es giebt äusserst schwer und erst bei viele Tage lang fortgesetztem Kochen etwas Leim, wie Eulenberg fand; dieser Leim entfernt sich von dem gewöhnlichen Leim und nähert sich der von mir beobachteten Leimart der Knorpel und Cornea an, welche von Alaun, Essigsäure, essigsaurem Bleioxyd und schwefelsaurem Eisenoxyd fällbar ist. Poggend. *Ann. XXXVIII.* Darin stimmt diess Gewebe mit den niederen oder leimgebenden Geweben (Zellgewebe, seröses Gewebe, Haut, Sehnengewebe, Knorpel) überein, dass seine saure Auflösung von Cyaneisenkalium nicht gefällt wird, während die Materie der Gewebe mit eiweissartiger Grundlage von jenem Salze aus ihrer sauren Auflösung gefällt wird, wie Berzelius entdeckte. Die Elasticität des elastischen Gewebes ist nach meiner Erfahrung so stark und dauernd, dass alles elastische Gewebe selbst nach tagelangem Kochen und jahrelangem Liegen in Weingeist seine Elasticität nicht verliert.

Das elastische Gewebe beschränkt sich indess nicht am Kehlkopfe auf die Stimmbänder. Schon lange weiss man, dass das Ligamentum hyo-thyreoideum und crico-thyreoideum medium gelbe elastische Bänder sind. Das letztere muss auch ohne Wirkung des Musculus crico-thyreoideus die entsprechenden Ränder des Schildknorpels und Ringknorpels einander genähert halten; daher die Rückwärtsbewegung der Cartilagines arytenoideae durch Muskelwirkung bei dem Spannen der Stimmbänder auch einigermassen diesem Bande entgegenzuwirken hat, und einige Spannung der Stimmbänder bei der Fixation der Cartilagines arytenoideae schon allein durch Annäherung der vorderen Theile des Ring- und Schildknorpels durch das Ligamentum crico-thyreoideum medium geschieht. Lauth hat indess im Innern des Kehlkopfes eine noch viel grössere Verbreitung des elastischen Gewebes nachgewiesen. *Mém. de l'acad. r. de méd.* Muell. *Arch.* 1836. *Jahresb. CLVII.* Nach Lauth hat das elastische Gewebe im Kehlkopf die folgende Verbreitung. Die grösste Portion des elastischen Gewebes entspringt von der untern Hälfte des Winkels des Schildknorpels zwischen der Insertion der Musculi thyreo-arytenoidei. Von da strahlen die Fasern nach abwärts, schief rückwärts, selbst etwas aufwärts aus, indem sie eine zusammenhängende Membran bilden, die sich am ganzen obern Rande des Ringknorpels mit Ausnahme der Einlenkungsstelle der Cartilagines arytenoideae befestigt. An der letztern Stelle befestigen sich die elastischen Fasern an die vordere Ecke der Basis der Cartilagines arytenoideae und an ihre

vordere Kante. Die strahlige elastische Haut zeigt drei Verstärkungsbündel, ein herabsteigendes (Lig. crico-thyreoideum medium), die anderen sind die Lig. thyreo-arytenoidea inferiora. Die Membran bildet auch die oberen Stimmbänder; die oberen und unteren Stimmbänder hängen durch eine den Morgagnischen Ventrikel deckende, äusserst dünne Schicht elastischen Gewebes zusammen. Auch das Lig. hyo-thyreoideum laterale ist elastisch, und dasselbe Gewebe befindet sich im Lig. thyreo-epiglotticum, hyo-epiglotticum und glosso-epiglotticum. Rechnet man hierzu noch die elastischen Längsfasern an dem membranösen Theil der Luftröhre und an den Bronchien, so erhält man einen Begriff von der grossen Ausdehnung der zur Mitschwingung und Resonanz geeigneten Wände in den Umgebungen des Stimmorganes.

Unsere nächste Aufmerksamkeit nehmen sofort die möglichen Formen der Stimmritze und ihre wirklichen beim Tonangeben in Anspruch. Nach den Untersuchungen von Lauth kann die Stimmritze im Allgemeinen folgende verschiedene Formen annehmen. Die Stimmritze ist im Zustande der Ruhe ausser dem Tongeben lanzenförmig. Bekanntlich erweitert sie sich beim Einathmen, verengert sich beim Ausathmen. Die Seiten der Stimmritze sind hinten durch die innere Fläche und den vordern Fortsatz der Basis der Cartilagines arytenoideae, vorn und im grössern Theile durch die Stimmbänder gebildet, die sich an jenem vordern Fortsatz der Basis der Cartilagines arytenoideae befestigen. Der hintere Theil der in ganzer Länge offenen Stimmritze beträgt bei einer Stimmritze von 11 Linien Länge 4, der vordere 7 Linien. Bei der grössten Erweiterung der Stimmritze (Musc. crico-aryt. post.) bildet sie eine Raute, deren hinterer Winkel abgeschnitten ist. Die Seitenwinkel entsprechen den genannten Fortsätzen der Cartilagines arytenoideae, deren Distanz von einander bis auf $5\frac{3}{4}$ Linien gebracht werden kann. Im Zustande der Enge kann die Stimmritze eine dreifache Form haben, entweder nähern sich bloss die vorderen Fortsätze der Basen der Cartilagines arytenoideae durch Wirkung der Musculi crico-arytenoidei laterales, und indem sich jene berühren, ist die Stimmritze doppelt; oder die verengerte Stimmritze ist in ihrer ganzen Länge offen. Endlich kann sich der hintere Theil der Stimmritze durch Annäherung der Cartilagines arytenoideae bis zu ihren vorderen Fortsätzen, woran die Stimmbänder befestigt sind, ganz schliessen. Diess geschieht durch die vereinte Wirkung der Musculi arytenoidei proprii und crico-arytenoidei laterales; in diesem Fall ist die Stimmritze auf den Zwischenraum ihrer elastischen und scharfen Ränder beschränkt. Ihre Form ist in diesem Fall vorn und hinten zugespitzt; ihre Länge und Weite ist in diesem Fall auch sehr verschieden, je nachdem die Stimmbänder zugleich gespannt sind oder nicht. Die Abspannung und Verkürzung der Stimmbänder geschieht durch die Musculi thyreo-arytenoidei. Letztere verengern auch den Raum über und unter den unteren Stimmbändern.

Die Form der Stimmritze beim Tonangeben im lebenden Menschen ist noch nicht ganz genau bekannt. Man weiss aller-

dings, dass sie hierbei verengt ist. Da nur der vordere Theil der Stimmritze, welcher von elastischen und scharfen Rändern eingeschlossen ist, der primitiven Schwingung fähig ist, der hintere Theil der Oeffnung also nicht in Betracht kommt, so könnte die Oeffnung des hintern Theils, indem sie den ganzen Flächeninhalt der Stimmritze bedeutend vermehrt, den Anspruch nur stören. Mayo hat die Stimmritze bei einem Menschen beobachtet. *Outlines of human physiology. Lond.* 1833. Ein Mann hatte beim Versuch zum Selbstmord den Kehlkopf gerade über den Stimmbändern durchschnitten; auf der einen Seite war Stimmband und Cartilago arytenoidea durch die schiefe Wunde verletzt. Beim ruhigen Athmen war die Stimmritze dreieckig. Als einmal ein Ton gelang, wurden die Stimmbänder fast parallel und die Stimmritze linienförmig. Nach der Figur scheint der hintere Theil der Stimmritze nicht eben geschlossen gewesen zu seyn. Ein Anderer hatte sich über dem Schildknorpel in den Schlund geschnitten, so dass man den obern Theil der Cartilagines arytenoideae sehen konnte. Beim Tonangeben standen diese so, wie wenn die Stimmritze ganz geschlossen wurde. Kempelen (*Mechanismus d. menschl. Sprache. Wien* 1791. 81.) giebt an, dass die Stimmritze nicht über $\frac{1}{12}$, höchstens $\frac{1}{10}$ offen seyn dürfe, wenn noch die Stimme ansprechen soll, und Rudolphi (*Physiol. II.* 1. 370.) bestätigt es aus der Beobachtung eines Mannes, dem bei fehlender Nase die Rachenhöhle so frei lag, dass er das Oeffnen und Schliessen der Stimmritze gut sehen konnte.

Magendie rechnet zur Stimmritze nicht den Raum zwischen den Cartilagines arytenoideae, welche nach ihm, zufolge Beobachtungen an Thieren, beim Tonangeben dicht aneinander liegen. Auch nach Malgaigne ist der hintere Theil der Stimmritze beim Tonangeben geschlossen. Diess mag wohl in der Regel so seyn und am ausgeschnittenen Kehlkopf des Menschen spricht der Ton nicht leicht an, wenn der hintere Theil der Stimmritze nicht geschlossen ist. Indessen ist es nach meiner Erfahrung nicht absolut zum Tonangeben nöthig, und ich erhielt bei einiger Spannung der Stimmbänder und enger Stimmritze in seltenen Fällen auch noch einen Ton bei geöffneter ganzer Länge der Stimmritze.

B. *Thatsachen über die Veränderung der Töne des Stimmorgans und ihre Ursachen.*

(Nach eigenen Beobachtungen.)

Durch Versuche an lebenden Thieren ist bis jetzt zur Erklärung der Stimme des Menschen noch nicht viel geleistet worden, obgleich die Bemühungen von Magendie und Malgaigne auch in dieser Hinsicht ihr Verdienst haben. Magendie legte bei einem Hunde die Stimmritze durch einen Einschnitt zwischen Schildknorpel und Zungenbein bloss, und beobachtete, dass die Stimmbänder bei tiefen Tönen in ganzer Länge schwingen, während der zwischen den Cartilagines arytenoideae gelegene Theil der Stimmritze geschlossen ist. Bei sehr hohen Tönen sollen die Schwingungen nur im hintersten Theile der Stimmbän-

der bemerklich seyn und die Luft nur durch den hintersten Theil der Stimmritze austreten. Es ist schwer einzusehen, wodurch die Verschliessung der Stimmritze in ihrem vordern Theile bewirkt werden solle. Am menschlichen Kehlkopf lässt sich auch eine solche Art des Durchströmens der Luft nicht bewirken, dagegen lässt sich sehr gut die Stimmritze von hinten her, bei gleichbleibender Spannung, etwas verkürzen durch stärkeres Aneinanderdrücken der vordern Fortsätze (Vocalfortsätze) der Basen der Cartilagines arytenoideae, an welchen die Stimmbänder befestigt sind. Die meisten Früchte lässt wohl zunächst nur ein sorgfältiges Erfahren am ausgeschnittenen Kehlkopfe des Menschen selbst erwarten. Im Anfange ist das Experimentiren am ausgeschnittenen Kehlkopfe des Menschen ungemein schwer, alles ist beweglich, wie soll man den Theilen die nöthige gleichbleibende Spannung, den Knorpeln eine bestimmte und gleiche Stellung geben, wie es doch zur Genauigkeit der Versuche nöthig ist, und wie ist diese Stellung leicht für bestimmte Zwecke zu ändern? Mit einigen Kunstgriffen kommt man indess doch zum Zweck. Zunächst kommt es darauf an, am Kehlkopf einen fixen Punct zu erhalten. Am Kehlkopf ist die vordere Wand grösstentheils und der obere Theil der hintern Wand beweglich. Der Schildknorpel kann gegen den Ringknorpel, die Cartilagines arytenoideae gegen den Ringknorpel bewegt werden. Durch beides wird die Spannung der Stimmbänder verändert. Da die Cartilagines arytenoideae die beweglichsten Theile sind, durch deren verschiedene Stellung am leichtesten Irrthum in die Versuche kommen kann, so suche ich zuerst ihre Stellung fix zu machen. Der Kehlkopf, mit einem Stück der Luftröhre wird mit der hintern Wand auf ein Brettchen gelegt, die Cartilago cricoidea darauf fest angebunden, und an dieses Brettchen auch die Cartilagines arytenoideae befestigt. Diess geschieht am besten folgendermassen. Ich stecke durch den untern Theil der Cartilagines arytenoideae quer einen Pfriemen durch, auf welchem sie zunächst neben einander fixirt sind. Das Durchstechen muss sehr vorsichtig geschehen, dass beide Bänder hernach bei der Spannung der Stimmbänder vom Schildknorpel aus gleich gespannt werden. Auch muss das Aufstecken der Cartilagines arytenoideae auf den Pfriemen so geschehen, dass, wenn sie gegen einander gedrängt werden, die vordern oder Vocalfortsätze an den Basen dieser Knorpel sich berühren. Auf diesem Pfriemen lässt sich den Knorpeln jede beliebige Stellung gegen einander geben. Sie können von einander etwas entfernt seyn, so dass auch der hintere, nicht tongebende Theil der Stimmritze offen ist, man kann sie auch dicht zusammenrücken und in dieser Lage, bei Verschliessung des hintern nicht tongebenden Theils der Stimmritze, auf den Pfriemen durch Schnüre unausweichlich befestigen. Wenn der so vorbereitete Kehlkopf auf dem Brettchen mit seiner hintern Wand befestigt ist, muss auch die von den Cartilagines arytenoideae gebildete hintere obere Wand des Kehlkopfs an das Brettchen befestigt werden; was leicht ist, indem nun der Pfriemen, auf welchem die Cartilagines arytenoideae stecken, durch Schnüre an das Brettchen unbeweglich angezogen wird. Ist die hintere Wand

des Kehlkopfs auf diese Art fest, so lässt sich den Stimmbändern jede beliebige und genau messbare Spannung durch Anziehen an der vordern von der Cartilago thyreoidea gebildeten Wand geben. Hiebei ist es nützlich, um einen Widerstand von Seiten der Befestigung der Cartilago thyreoidea an die Cartilago cricoidea aufzuheben, vorsichtig diese ganze Befestigung zu trennen. Durch eine an den Winkel des Schildknorpels dicht über der Insertion der Stimmbänder angeheftete Schnur kann man nun den Schildknorpel anziehen und die Entfernung der vordern beweglichen Wand von der hintern festen Wand des Kehlkopfs so weit vergrössern, als die Stimmbänder zwischen beiden Wänden es zulassen; in dem Maass als dies geschieht, werden die Stimmbänder gespannt. Die feine Schnur leite ich über eine Rolle und verbinde mit ihr eine Waagschale; durch Einlegen von Gewichten in die Schale kann ich die Spannung der Stimmbänder genau messbar verändern. Da der Kehldeckel, die oberen Stimmbänder und Ventriculi Morgagni, die Santorinischen Knorpel, die Ligamenta ary-epiglottica und selbst der obere Theil des Schildknorpels bis an die Insertionsstelle der Stimmbänder zum Tonangeben nicht wesentlich nöthig sind, so schneide ich alle diese Theile bis dicht über die unteren Stimmbänder weg, um besser die Stimmbänder beim Tönen und Schwingen, so wie die Stimmritze beobachten zu können. Es ist ohnehin nöthig, zuerst dasjenige kennen zu lernen, was allein durch die unteren Stimmbänder bewirkt werden kann; später soll der Einfluss der obern Kehlkopfhöhle über den unteren Stimmbändern untersucht werden. In dem Luftröhrenstück steckt ein Rohr von Holz zum Anblasen. Die Versuche sind von mir mittelst dieser Vorrichtung öfter wiederholt worden. Die Thatsachen, die dabei beobachtet wurden, sind folgende.

I. *Die unteren Stimmbänder geben bei enger Stimmritze volle und reine Töne beim Anspruch durch Blasen von der Luftröhre aus.* Diese Töne kommen den Tönen der menschlichen Stimme sehr nahe, und haben eine grosse Aehnlichkeit mit den Tönen, welche sich an nassen, aus elastischer Arterienhaut gebildeten, auf das Ende eines Rohrs aufgespannten Bändern durch Blasen hervorbringen lassen. Der beste künstliche Kehlkopf wird auf die eben angegebene Weise gebildet. Nasse Bänder von elastischer Arterienhaut bestehen aus demselben Gewebe wie die Stimmbänder selbst, und haben dieselben physicalischen Eigenschaften. Man kann ihnen andere trockene Bänder von Kautschuck substituiren, die Töne sind nicht sehr verschieden. Die Bänder werden an zwei Enden gespannt, schliessen aber sonst das Ende der Röhre bis auf die Stimmritze. Nasse elastische Bänder haben den Vorzug vor den Kautschuckbändern, weil jene wie das menschliche Stimmorgan, auch noch wenn die Bänder sehr klein sind, gute Töne geben, so dass der Unterschied wegfällt, welchen Cagniard la Tour (Magendie, *Physiol.*) zwischen den Kautschuckbändern und Stimmbändern beobachtete.

II. *Diese Töne unterscheiden sich von denjenigen, welche man erhält, wenn die Ventriculi Morgagni, die oberen Stimmbänder und*

der Kehldeckel noch vorhanden sind, dass sie weniger stark sind, indem diese Theile sonst beim Anspruch, so wie die hintere Wand der Luftröhre, stark mitschwingen und resonniren.

III. Am leichtesten und jedesmal sprechen die Stimmbänder an, wenn der hintere Theil der Stimmritze zwischen den Cartilagines arytenoideae geschlossen ist. Doch ist diess nicht absolut nothwendig, und öfter, aber nicht jedesmal, spricht die Stimme auch bei ganz offener Stimmritze an, wenn die Oeffnung nur eng genug ist. In dieser Hinsicht muss ich Magendie und Malgaigne einigermassen widersprechen. Aber diese Töne sind schwer hervorzubringen und schwächer.

IV. Haben die Stimmbänder eine gleichbleibende Spannung, so bleibt sich der Ton in der Höhe gleich, mag der hintere Theil der Stimmritze offen seyn oder nicht; doch ist es nöthig, dass die Verschliessung des hintern Theils der Stimmritze durch Aneinanderpressen der Cartilagines arytenoideae durchaus nicht weiter als bis zur Insertionsstelle der Stimmbänder gehe. Man sieht hieraus schon deutlich, dass die Stimmbänder es sind, deren Schwingungen den Ton bestimmen, und dass nicht die Luft, indem sie durch die Stimmritze durchgepresst wird, das primitiv Schwingende ist. Denn sonst müsste der Ton bei einer Stimmritze von ganzer Länge viel tiefer seyn, als bei einer Stimmritze von der Länge der Stimmbänder.

V. Schliesst der hintere Theil der Stimmritze zwischen den Cartilagines arytenoideae nicht ganz, so dass die Vocalfortsätze an den Basen der Cartilagines arytenoideae zwar sich berühren, aber ganz hinten eine kleine Oeffnung übrig bleibt, so entsteht durch letztere kein zweiter Ton, zuweilen brodelt nur die Luft durch die enge Oeffnung zwischen den Knorpeln und der sie verbindenden häutigen Wand durch.

VI. Bei gleicher Spannung der Stimmbänder hat die grössere oder geringere Enge der Stimmritze keinen wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Tons. Der Ton spricht nur schwer an, wenn die Stimmritze weiter ist, und ist weniger klangvoll, indem man zugleich das Geräusch des Durchströmens der Luft vernimmt. Diess verhält sich ganz so wie am künstlichen Kehlkopf von Kautschuckbändern. Siehe oben p. 152. Hiebei zeigt sich zum zweitenmal, dass die Luft nicht das primitiv Schwingende seyn kann (wie nach der Theorie von Dodart und Liscovius, nach welcher die Bänder bloss mitschwingen sollen); denn sonst müsste die Tiefe des Tons mit der Weite der Stimmritze zunehmen. Die Stimmbänder verhalten sich also in dieser Hinsicht gleich wie die membranösen und metallischen Zungen, bei welchen eine weitere Oeffnung nur den Anspruch erschwert, nicht aber die Höhe des Tons verändert. Siehe oben p. 145. Dass eine weitere Stimmritze nicht tiefere Töne bedinge, hat Ferrein schon richtig beobachtet.

VII. Sind die Stimmbänder ungleich gespannt, so geben sie in der Regel doch nur einen Ton, und nur in seltenen Fällen zwei Töne an. Hier verhalten sich die Stimmbänder auch wieder wie die Kautschuckbänder am künstlichen Kehlkopf. Siehe oben p. 153.

Es ist dort auch gezeigt worden, dass der Ton bei ungleich gespannten Kautschuckbändern von einem der Bänder herrühren kann und dass oft das andere schwach mitschwingt; dass dagegen nicht immer Compensation der verschiedenen Stimmungen beider Bänder eintritt. Man kann auch am Kehlkopf öfter eine einseitige Schwingung eines Stimmbandes bemerken, besonders dann, wenn sie nicht ganz in gleicher Ebene liegen. Die Thatsache, dass bei zwei ungleich gespannten Stimmbändern, wie bei ungleich gespannten Kautschuckbändern, öfter nur das eine tönt, und dass sie in freilich seltenen Fällen zwei Töne geben, beweist abermals, dass die Stimmbänder das Primitive beim Tonangeben sind und nicht die Luft es ist.

VIII. *Bei gleichbleibender Spannung der Stimmbänder entsteht zuweilen statt des Grundtons derselben ein viel höherer Ton, besonders wenn sie beim Schwingen in einem Theile ihrer Länge anstossen.* Diess ist aus der Entstehung von Schwingungsknoten zu erklären, und Aehnliches zeigt sich zuweilen an Kautschuckbändern.

IX. *Es können sowohl Töne hervorgebracht werden, wenn die Stimmbänder eine enge Oeffnung zwischen sich haben, als wenn sie sich ganz berühren.* Im letztern Fall erfolgen die Töne besonders leicht bei ganz schlaffen Stimmbändern. In diesem Fall sind die Schwingungen der Stimmbänder ungemein stark, indem der Durchgang der Luft erschwert ist und sie stärker abgetrieben oder auseinander getrieben werden. Diess ist ein ganz ähnliches Verhalten wie bei den membranösen Zungen von Kautschuck. Denn der Ton entsteht hier öfter, wenn die Bänder bis zur Berührung aneinander liegen, ja sogar und noch besser als im letzten Fall, wenn ein Band mit seinem Rande über dem andern liegt, oder wenn nur ein Band angewandt und dieses mit seinem Rande über den Rand einer dünnen Holzplatte gespannt wird. Es ist dasselbe Verhalten wie bei den nicht einschlagenden Zungen, indem die Oeffnung von Moment zu Moment geschlossen und der Luftstrom stossweise unterbrochen wird.

X. *Die Töne, welche entstehen, wenn die Stimmbänder bei sehr geringer Spannung einander berühren, unterscheiden sich im Klang von denjenigen, die bei enger Oeffnung der Stimmritze erzeugt werden.* Im erstern Fall ist der Schall stärker und voller, im letztern Fall schwächer und gedämpfter.

XI. *Haben die Stimmbänder eine bestimmte Länge und gleichbleibende schwache Spannung, so ist der Ton in der Höhe nicht verschieden, mögen die Stimmbänder sich berühren oder eine enge Oeffnung zwischen sich haben.*

XII. *Auch im ganz schlaffen und nicht gespannten Zustande der Stimmbänder lassen sich noch ganz gut Töne hervorbringen, wenn die Stimmritze zugleich sehr verkürzt wird,* indem man sie durch Zusammendrücken der Lippen mit der Pincette in ihrem hintern Theile schliesst; bei einer Länge der Spalte von zwei Linien lassen sich dann noch Töne hervorbringen, wenn die Stimmbänder erschlafft sind und sich mit ihren Rändern berühren. Diese Eigenschaft der Stimmbänder lässt sich an trocknen elastischen Platten, wie Kautschuckstreifen, nicht erläutern, wohl aber an nassen Bän-

dern von elastischem Gewebe, wie von Arterienhaut. Das elastische Gewebe verliert übrigens auch im schlaffen, nicht gespannten Zustande seine elastische Gegenwirkung gegen den Strom der Luft nicht; denn der durchgehende Strom der Luft dehnt, wenn der Durchgang sehr kurz ist und die Stimmbänder aneinander liegen, beim Durchdrängen die schlaffen Bänder so sehr aus, dass sie wieder elastische Gegenwirkung bekommen, so dass durch die Vibrationen mit sehr grossen Excursionen die Stimmritze abwechselnd geöffnet und geschlossen wird. Es ist indess nicht einmal nöthig, dass die Elasticität der durch den Luftstrom ausgedehnten Stimmbänder so gross werde, dass sie rückschwingend die Stimmritze schliessen. Sie können auch ohne periodischen Schluss der Stimmritze im vom Luftstrom ausgedehnten Zustande schwingen, so wie eine schwach gespannte membranöse Zunge von Kautschuck, ohne bei den Rückschwingungen die gerade Linie zu erreichen.

XIII. Tiefe Töne lassen sich bei kurzer, ja sehr kurzer Stimmritze sowohl als bei langer Stimmritze, hohe Töne bei langer sowohl als kurzer Stimmritze erzeugen, wenn nur die Stimmbänder bei langer Stimmritze für hohe Töne zugleich stärker gespannt sind, und wenn nur die Stimmbänder für tiefe Töne bei sehr kurzer Stimmritze mit berührenden Lippen ganz erschlafft sind. Man kann durch Zusammendrücken der Lippen der Stimmritze mittelst einer Pincette in dem Raume vor den Vocalfortsätzen der Cartilagines arytenoideae der Stimmritze ohne Veränderung der Spannung jede beliebige Verkürzung geben. Man kann ferner durch Zurückdrücken des Schildknorpels den Stimmbändern jede beliebige Abspannung geben. Durch Anwendung dieser Vorrichtungen gelangt man zu dem vorerwähnten Resultate.

XIV. Die Töne verändern sich in der Höhe, wenn die ganzen Stimmbänder vom Winkel der Cartilago thyreoidea bis zu den fest aneinander liegenden Vocalfortsätzen der Cartilagines arytenoideae ohne Berührung schwingen, mit zunehmender Spannung nicht ganz wie die Saiten und an zwei Enden gespannten Membranen. Sie bleiben bei zunehmender Spannung meist um einige halbe oder ganze Töne unter der nach der Theorie geforderten durch die Spannung bedingten Höhe. Niemals werden sie höher als die nach der Theorie geforderten Töne; es sey denn, dass die Stimmbänder ungleich gespannt sind, sich in einem Theil ihrer Länge bei der Schwingung berühren und secundäre Schwingungsknoten erzeugen, wobei unerwartete, sehr hohe Töne nach Analogie der Flageolettöne entstehen können. Bekanntlich nehmen bei den Saiten die Töne oder Schwingungsmengen bei gleicher Länge der Saiten im geraden Verhältnisse zu, wie die Quadratwurzeln der spannenden Kräfte. Siehe oben p. 136. D. h. wird eine Saite durch 4 Loth Gewicht gespannt und giebt sie dann *c*, so giebt sie bei 16 Loth Gewicht die Octave von *c*, bei 64 Loth Gewicht die zweite Octave von *c*. Vermittelst der p. 185. beschriebenen Vorrichtung lassen sich vergleichende Proben an den Stimmbändern anstellen. Man erhält zwar bei quadratischer Zunahme der Gewichte auf der Wageschaale in der Regel keine Octaven,

sondern meist Töne, die um einen halben, ganzen, anderthalb, zwei ganze oder drei ganze Töne unter den Octaven sind, aber die Analogie ist doch immer auffallend genug, und es lässt sich wenigstens so viel durch dergleichen Versuche zeigen, dass die durch Zunahme der Spannung im Verhältniss von 4, 16, 64 hervorgebrachten Töne sich einigermassen der Reihe der Zahlen 1, 2, 4 nähern. Was allein schon beweist, dass die Töne des menschlichen Stimmorgans, sofern sie an der Stimmritze und ihrer Begrenzung entstehen, denen der Saiten und membranösen Zungen analog sind. Die Versuche gelingen nur dann, wenn die Stimmbänder möglichst gleich gespannt sind und ihre Berührung an aliquoten Theilen ihrer Länge bei der Schwingung mit höherer Spannung vermieden werden kann. Aber eine grosse Schwierigkeit liegt in der gleichen Spannung der Stimmbänder und in der Vermeidung dieser Berührung der Stimmbänder in aliquoten Theilen ihrer Länge. Die letztere bringt statt der geforderten Töne öfter weit höhere, schreiende Flageolettöne hervor. Manche Kehlköpfe zeigten sich bei der Unmöglichkeit dieses plötzliche Uebergehen bei stärkerer Spannung in andere Register zu vermeiden, zu den Versuchen ganz unbrauchbar; am besten sind im Allgemeinen männliche Kehlköpfe bei grösserer Länge der Stimmbänder. Man muss die Versuche öfter wiederholen, um einen solchen Fall zu finden, wo sich die schreienden ungeforderten Töne vermeiden lassen. Ich führe hier mehrere Beispiele von Kehlköpfen an, an welchen die Versuche am günstigsten ausfielen. Ein Uebelstand ist, dass sich die Bänder durch Gewichte nicht gut in ganz gerader Richtung spannen lassen, ohne dass andere Theile einigen Widerstand leisten. Bei dem Ausspannen der Stimmbänder von der Cartilago thyreoidea aus wirkte das elastische Gewebe zwischen Cartilago thyreoidea und cricoidea nach einer Seite hin hindernd, und bewirkte einen Abzug der Spannung; man kann diess elastische Gewebe durchschneiden, dann wirkt noch immer das Gelenk zwischen Cartilago cricoidea und thyreoidea hindernd; man kann auch diese Gelenkverbindung lösen, aber auch dann bleiben die Töne bei stärkerer Spannung fast immer unter den geforderten Tönen, wenn die Flageolettöne vermieden werden. Die Spannung geschah in den als Beispiele anzuführenden Versuchen in etwas verschiedenen Directionen, bald gerade in der Richtung der Länge der Stimmbänder, bald in einer Richtung, die ein wenig vor- oder rückwärts von dieser Richtung abwich, um die Breite der Abweichungen bei solchen Versuchen kennen zu lernen. Je nach dieser verschiedenen Richtung, in welche die durch Gewichte gespannte Schnur wirkt, ist natürlich auch der Grundton der Bänder ein wenig verschieden. Ein anderer Uebelstand liegt in der Unmöglichkeit, einen immer gleich starken Anspruch bei der Spannung der Stimmbänder durch Blasen zu erhalten. Die Töne steigen aber in der Höhe bei stärkerm Blasen. Am zweckmässigsten nimmt man jedoch zur Basis der Vergleichung nur diejenigen Töne, die sich bei jeder Spannung durch den allerschwächsten Anspruch des Blasens ergeben, oder die Grundtöne der Stimmbänder.

I. Versuch. Grundton der Stimmbänder bei 4 Loth Gewicht Spannung $\overline{c}$.

Spannung. Töne.		Loth 4	Loth 16	Loth 64
		$\overline{c}$	$\overline{a}$	$\overline{\overline{gis}}$
II. Versuch.	Spannung	4	16	64
	Töne .	$\overline{cis}$	$\overline{h}$	$\overline{\overline{ais}}$ — $\overline{\overline{a}}$
III. Versuch.	Spannung	4	16	64
	Töne .	$\overline{gis}$	$\overline{\overline{cis}}$	$\overline{\overline{\overline{c}}}$
IV. Versuch.	Spannung	4	16	64
	Töne .	$\overline{a}$	$\overline{\overline{d}}$	$\overline{\overline{\overline{c}}}$
V. Versuch.	Spannung	4	16	64
	Töne .	*ais*	$\overline{fis}$	$\overline{\overline{g}}$
VI. Versuch.	Spannung	4	16	64
	Töne .	*ais*	$\overline{gis}$	$\overline{\overline{g}}$
VII. Versuch.	Spannung	4	16	64
	Töne .	$\overline{d}$	$\overline{\overline{c}}$	$\overline{\overline{a}}$
VIII. Versuch.	Spannung	4	16	64
	Töne .	$\overline{dis}$	$\overline{h}$	$\overline{\overline{a}}$
IX. Versuch.	Spannung	4	16	64
	Töne .	*g*	$\overline{g}$	$\overline{\overline{g}}$, die beiden Octaven unrein.

Die Töne wurden jedesmal an einem gut gestimmten Clavier von einer zweiten Person bestimmt.

XV. Die vom Kehlkopf isolirten und gespannten Stimmbänder verhalten sich nur annähernd wie die Saiten, mit denen die isolirt ohne Rahmen durch Luftstrom schwingenden membranösen Zungen nach p. 151. *übereinstimmen.* Nach der oben angegebenen Methode, an frei gespannten Kautschuckbändern ohne Rahmen Schwingungen und Töne durch den freien Luftstrom durch ein feines Röhrchen hervorzubringen, ist es nicht schwer, auch ein ganz isolirtes, frei stehendes und gespanntes Stimmband durch Blasen zum Tönen zu bringen. Ich schneide ein Stimmband so aus, dass vorn mit ihm ein Stück vom Winkel der Cartilago thyreoidea, hinten ein Stück der Cartilago arytenoidea in Verbindung bleibt. Das eine Ende wird dann auf einem Brett fixirt, an das andere ein Faden angebunden und dieser über eine Rolle geleitet; der Faden kann durch Gewichte in einer Wageschale angezogen werden. Blase ich dann mittelst eines feinen Röhrchens gegen den Rand des Stimmbandes, so entsteht sein Grundton, schwach und klanglos. Auch in diesem

Fall blieben die Töne unter den nach der Theorie geforderten Zahlen. Ein Stimmband gab bei 16 Loth Gewicht Spannung *ais* an, wurde das Gewicht auf 4 Loth reducirt, so fiel sein Grundton auf *d;* wurden wieder 16 Loth Gewicht aufgelegt, so gab es wieder *ais* an.

XVI. Durch Veränderung der Spannung in gleicher Direction lassen sich die Töne am Kehlkopf ohngefähr im Umfang von zwei Octaven verändern, bei stärkerer Spannung entstehen unangenehme, höhere pfeifende oder schreiende Töne. Wenn es nicht darauf ankömmt, die Stimmbänder durch Gewichte, welche in der Richtung der Bänder selbst ziehen, zu spannen, wie in den vorher erläuterten Fällen, so lässt sich die Spannung am leichtesten auf dieselbe Art, wie es von der Natur selbst geschieht, verändern, nämlich durch Herabziehen des Schildknorpels gegen den Ringknorpel, wenn die Cartilagines arytenoideae fixirt sind. Diese Art von Spannung ist hebelartig. Der Hebel ist der Schildknorpel, das Hypomochlion des Hebels die seitliche Gelenkverbindung des Schildknorpels und Ringknorpels. Auf diese Art sind die folgenden Versuche angestellt. Die Cartilagines arytenoideae werden wie vorher zuerst auf einem Pfriemen fixirt, aneinander gebunden, so dass bloss die Stimmritze zwischen den Bändern übrig bleibt. Dann werden sie an ein schmales Brettchen angebunden, auf welchem die Luftröhre fixirt ist. Das Brett wird senkrecht an einem Gestell befestigt; am vordern Winkel des Schildknorpels, gerade über der Befestigung der Stimmbänder ist der Faden mit der senkrecht herabhängenden kleinen Wageschale angeheftet. Werden mehr Gewichte eingelegt, so rückt der Schildknorpel gegen den Ringknorpel herab, und der Raum, der von dem Ligamentum crico-thyreoideum medium ausgefüllt wird, wird enger; in demselben Grade werden die Stimmbänder gespannt. Man ahmt hierbei die Wirkung der Musculi crico-thyreoidei nach. Auch am lebenden Menschen wird der Raum zwischen Ringknorpel und Schildknorpel beim Singen vom tiefsten bis höchsten Ton immer enger, wie Jeder sich an sich selbst überzeugen kann, wenn er die Spitze des Fingers tief in diese Lücke legt. Bei den gleich zu erwähnenden Versuchen reichte bei den tieferen Tönen gegen ein halbes Loth Gewicht hin, den Ton um einen halben Ton zu erhöhen, bei stärkerer Spannung wurde mehr und zuletzt sogar 3 Loth erfordert, um eine Veränderung von einem halben Ton hervorzubringen. Natürlich wirkt das Gewicht verschieden in dem Maass, als sich die Stellung des Schildknorpels verändert, ausserdem gehen bei fortdauernder Anspannung der Bänder auch kleine Veränderungen ihrer Elasticität vor sich. Zur Grundlage der Vergleichung wurden nur die beim schwächsten Anblasen hörbaren Töne genommen; bei stärkerm Blasen erhöht sich der Ton; hieraus ergiebt sich zugleich, dass die Bestimmung des Grundtons der Bänder bei einer bestimmten Spannung nicht ganz genau seyn kann; doch glaube ich für gewiss annehmen zu können, dass die hierdurch entstehenden Fehler nur weniger als einen halben Ton betragen können, da man jedesmal nur die tiefsten Töne annahm. Im Ganzen gleichen sich

solche Fehler aus, und auch die Unreinigkeit des einen oder andern Tons bei den angewandten Gewichten, bei denen man es bewenden liess, war für das Ohr eines Sängers, der die Töne jedesmal am Clavier bestimmte, nicht gross. Die beiden Versuche wurden nach einander an demselben Kehlkopf gemacht. Die ausserordentliche Höhe, welche durch Spannung hervorgebracht wurde, war um so merkwürdiger, als der Kehlkopf ein männlicher war.

I. Versuch.

Gewichte.	Töne.
$\frac{1}{2}$ Loth	*ais*
1 «	*h*
$1\frac{1}{2}$ «	*c*
2 «	*cis*
$2\frac{1}{2}$ «	*d*
$2\frac{8}{10}$ «	*dis*
3 «	*e*
$3\frac{1}{2}$ «	*f*
4 «	*fis*
$4\frac{1}{2}$ «	*g*
5 «	*gis*
$5\frac{1}{2}$ «	*a*
6 «	*ais*
$6\frac{1}{2}$ «	*h*
7 «	*h — c*
$7\frac{1}{2}$ «	*c*
8 «	*cis*
$8\frac{1}{2}$ «	*d*
$9\frac{7}{10}$ «	*dis*
$10\frac{7}{10}$ «	*e*
$11\frac{7}{10}$ «	*f*
13 «	*fis*
15 «	*g*
17 «	*gis*
19 «	*a*
22 «	*ais*
25 «	*h*
28 «	*c*
31 «	*cis*
35 «	*d*
37 «	*dis*
	Kein Ton mehr.

II. Versuch.

Gewichte.	Töne.
$\frac{1}{2}$ Loth	*h*
1 «	*c*
$1\frac{1}{2}$ «	*cis*
2 «	*d*
$2\frac{1}{2}$ «	*dis*
3 «	*e*
$3\frac{1}{2}$ «	*f*
4 «	*fis*
$4\frac{1}{2}$ «	*g* +
5 «	*gis*
$5\frac{1}{2}$ «	*a*
6 «	*ais*
$6\frac{1}{2}$ «	*h*
$7\frac{1}{2}$ «	*c*
$8\frac{3}{10}$ «	*cis*
9 «	*d*
10 «	*dis*
11 «	*e*
12 «	*f*
13 «	*fis*
15 «	*g*
$17\frac{1}{2}$ «	*gis*
18^{1} «	*a*
20 «	*ais*
22 «	*h*
26 «	*c*
29 «	*cis*
32 «	*d*
37 «	*dis*
	Kein Ton mehr.

Nach dem ersten Versuch hatten sich die Stimmbänder nur um so viel verändert, dass sie bei $\frac{1}{2}$ Loth Gewicht statt *ais* vielmehr *h* gaben. Es geht aus diesen Versuchen hervor, dass ohngefähr 1 Pfund bürgerl. Gewicht Muskelkraft die Töne im Umfang von 2 Octaven hervorbringen kann.

XVII. Ist der hintere Theil der Stimmritze nur fest geschlossen, und sind die Cartilagines arytenoideae fixirt, so dass die Stimmbänder bloss durch die Elasticität des Ligamentum crico-thyreoideum medium ganz schwach gespannt sind, so lassen sich noch tiefere Töne hervorbringen, wenn die von diesem Band bewirkte Spannung aufgehoben und eine noch grössere Abspannung und gänzliche Erschlaffung der Stimmbänder bewirkt wird. Man bewirkt in diesem Fall die noch stärkere Abspannung durch einen mit Gewichten beschwerten Faden, der von dem Winkel des Schildknorpels ab rückwärts über eine Rolle geht und also den Schildknorpel den fixirten Cartilagines arytenoideae nähert. Dieser Mechanismus erläutert die Wirkung des Musculus thyreo-arytenoideus. Der Kehlkopf ist senkrecht aufgestellt und man bläst ihn von unten durch ein gekrümmtes Rohr an. Bei diesen Versuchen müssen immer Mehrere zugegen seyn; Einer spricht an, Einer legt die Gewichte auf die Wageschale, Einer bestimmt die Töne auf dem Clavier. In dem Beispiele, welches ich anführe, war der Ton, von dem man ausging, $\overline{dis}$ bei $\frac{3}{10}$ Loth Gegengewicht Abspannung. Bei zunehmenden Gewichten der Abspannung sanken die Töne folgendermassen:

Töne:	$\overline{dis}$	$\overline{d}$	$\overline{cis}$	$\overline{c}$	*h*	*ais*	*a*	*e* und *gis* nacheinander	*e*	*dis*	*d*	*cis*	*H.*
Loth:	$\frac{3}{10}$	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{3}{10}$	$1\frac{4}{10}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{7}{10}$	$2\frac{2}{10}$	$2\frac{4}{10}$	$2\frac{6}{10}$	$2\frac{8}{10}$	$3\frac{5}{10}$	$3\frac{8}{10}$.

Auf diese Art wurden also durch immer stärkere Abspannung der Stimmbänder vermöge Gegenspannung in der Art der Wirkung des Musculus thyreo-arytenoideus die tiefsten Basstöne der Bruststimme erreicht.

XVIII. Man kann auf dem ausgeschnittenen Kehlkopf bei sehr schwacher Spannung der Stimmbänder zwei ganz verschiedene Register von Tönen hervorbringen; Töne, im Allgemeinen tiefer, welche mit der Bruststimme die vollkommenste Aehnlichkeit haben, andere im Allgemeinen höher und die höchsten, welche im Klang ganz der Falsetstimme gleichen. Diese verschiedenen Töne können bei einer bestimmten gleichen Spannung hervorgebracht werden. Zuweilen spricht der Ton der Bruststimme, zuweilen bei derselben Spannnng derjenige der Fistelstimme an. Bei einiger Spannung der Stimmbänder sind die Töne immer vom Klang der Falsetstimme, mag man schwach oder stark blasen. Bei grosser Abspannung sind die Töne die der Bruststimme, mag man schwach oder stark blasen. Bei sehr schwacher Spannung hängt es von der Art des Blasens ab, ob der eine oder andere Ton erfolgt; der Falsetton erfolgt leichter bei ganz schwachem Blasen. Beide Töne können ziemlich weit auseinander liegen, selbst um eine ganze Octave. Zu diesen Versuchen ist es zweckmässig, männliche Kehlköpfe zu nehmen. Der hintere Theil der Stimmritze muss wie immer durch die oben beschriebene Vorrichtung verschlossen, und die Cartilagines arytenoideae und der ganze Kehlkopf fixirt seyn. Sind

die Cartilagines arytenoideae senkrecht fixirt, so reicht die blosse Spannung der Stimmbänder durch das Ligamentum crico-thyreoideum medium hin, um die hier erwähnten Phänomene zu bewirken; spannt man weiter künstlich, so erfolgen keine Brusttöne mehr. Dass die Stimmbänder bei den Brusttönen schlaff, bei den Falsettönen gespannt sind, ist von Liscovius zuerst entdeckt; indess lässt sich bei einem gewissen Grade der Abspannung bei verschiedenem Anspruch sowohl ein Brustton als ein Falsetton hervorbringen, und auch bei den Brusttönen hängt die Höhe nicht von der Enge der Stimmritze, sondern von dem grössern oder geringern Grade von Abspannung der Bänder ab, wie ich durch viele Versuche erprobt und durch das Beispiel XVII. erläutert habe. Die Ursache der Brust- und Falsettöne liegt also noch in etwas ganz anderm als dem von Liscovius entdeckten Umstand.

XIX. Haben die Stimmbänder eine so geringe Spannung oder einen so geringen Grad von Abspannung, dass man durch verschiedene Art des Anspruchs Brusttöne und Falsettöne darauf hervorbringen kann, so kann man sich weiter überzeugen, dass die Falsettöne keine solche Flageolettöne wie die der Saiten sind, welche bei Schwingungen aliquoter Theile der Länge der Saiten entstehen; die Stimmbänder können in beiden Fällen, bei dem höhern Falsetton und dem tiefern Brustton, in ganzer Länge schwingen und man sieht es deutlich. Der wesentliche Unterschied beider Register besteht darin, dass bei den Falsettönen bloss die feinen Ränder der Stimmbänder, bei den Brusttönen die ganzen Stimmbänder lebhaft und mit grossen Excursionen schwingen. Diese Thatsache ist zuerst von Lehfeldt beobachtet. Gottfr. Weber (*Caecilia I.* 81.) hat die Vergleichung der Falsettöne mit den Flageolettönen der Saiten besonders hervorgehoben, und die Falsettöne als durch Schwingungen der Bänder mit Schwingungsknoten entstehend angesehen. Diese Erklärung lässt sich zwar, wie man sieht, nicht festhalten; indessen ist doch die Entstehung der Falsettöne nicht ganz unähnlich. Sie entstehen durch Theilung der Bänder in der Breite oder Schwingung nur eines Theils der Breite der Bänder, nämlich des Randtheils. Natürlich kann ein Band von einiger Breite sehr verschiedener Art der Schwingung beim Anblasen fähig seyn. Bald schwingt der Rand, dann wird der übrige Theil der Membran bloss vom Luftstrom ausgedehnt, bald schwingt die ganze Membran. Bei den Falsettönen, wo der feine Rand der Stimmbänder schwingt, kann man wegen der geringern Excursionen der Schwingungen meist sehr scharf noch die Spalte der Stimmritze unterscheiden; bei den Brusttönen sind die Excursionen so stark, dass der Schimmer der Schwingungen beider Bänder sich vermischt. Wesentlich ist aber nicht bloss, dass die ganzen Bänder schwingen, auch die angrenzende Membran vor den unteren Stimmbändern, welche mit diesen zusammenhängt und von dem untern stärksten Theil des Musculus thyreo-arytenoideus bedeckt ist, schwingt heftig mit sammt diesem Muskel. Die Brusttöne vertiefen sich um so mehr, als man den Schildknorpel den senkrecht feststehenden Cartilagines arytenoi-

deae nähert, wie in dem Versuch p. 194., wo der tiefste Ton mit *H* erreicht wurde. Bei weiterer Abspannung sprach die Luft nicht mehr an. Durch successive Entfernung des Schildknorpels nach vorn, ohne dass jedoch die Stimmbänder einigermassen stärker gespannt werden, erhält man eine ganze Reihe von Basstönen an einem guten männlichen Kehlkopf, wenigstens im Umfang einer Octave vom tiefsten möglichen Basston. Weiter kann man die Bruststimme auf diese Art nicht erhöhen; sie springt sonst in die Fistelstimme über, die bei einiger Spannung der Stimmbänder allein möglich ist. Dass die Stimmbänder in so abgespanntem Zustande immer noch starke Töne geben, wird begreiflich dadurch, dass sie durch die Ausdehnung vom Luftstrom immer wieder einige Tension erhalten, wie es auch an Kautschuckbändern der Fall ist. Die höheren Brusttöne waren nie ganz leicht an einem ausgeschnittenen Kehlkopf möglich. Da der Ton bei einigermassen zunehmender Spannung der Stimmbänder sogleich in die Fistelstimme überspringt, so muss man diese stärkere Spannung bei der Erzielung höherer Brusttöne jedenfalls vermeiden. Dagegen giebt es zwei Mittel, durch welche sich der auf die vorher angezeigte Weise erhaltene höchste Brustton bei einer bestimmten Länge und Abspannung der Stimmbänder noch sehr erhöhen lässt. Das eine Mittel ist das stärkere Blasen, wodurch die successive Erhöhung bis zu einer Quinte nicht schwer ist; die höheren auf diese Art erreichten Brusttöne sind unangenehm schreiend und geräuschvoll. Das zweite Mittel besteht in der Verengerung des nächsten Raumes unter den unteren Stimmbändern. Dieser Raum und seine Wände sind überhaupt für die Theorie der Brusttöne von grosser Wichtigkeit. Man ist bisher gar nicht achtsam darauf gewesen; schon der Umstand, dass die Wände dieser Stelle zunächst unter den unteren Stimmbändern einige Linien hoch seitlich von einer dicken Lage Muskelfleisch, dem untern Theil des Musculus thyreo-arytenoideus, ausgekleidet werden, muss auf seine Wichtigkeit aufmerksam machen. Es ist bekannt, dass dieser Raum an Enge zunimmt, je mehr er sich der Stimmritze nähert, indem er zuletzt in sie übergeht. Um den Einfluss dieser Stelle auf die Veränderung der Brusttöne zu bemerken, nehme man an einem männlichen Kehlkopf alles durch einen Querschnitt bis über die unteren Stimmbänder weg, mache die Cartilagines arytenoideae auf die früher beschriebene Weise fest, schliesse den hintern Theil der Stimmritze bis an die Vocalfortsätze der Cartilagines arytenoideae auf die angezeigte Weise fest zu und präparire dann das Muskelfleisch des Musculus thyreo-arytenoideus zu den Seiten der unteren Stimmbänder und weiter nach abwärts bis auf die innere Haut des Kehlkopfs ab, wo sie den trichterförmig verengerten Vorraum der Stimmritze auskleidet. Die Membran ist auch noch einigermassen elastisch und hängt oben mit dem Gewebe der Stimmbänder innig zusammen. Diese ganze Membran des trichterförmigen Vorraums der Stimmritze schwingt bei den Brusttönen mit der ganzen Dicke und Breite der unteren Stimmbänder mit. Wird dieser Trichter in seinem weiten, nach unten sehenden

Theil seitlich verengert, die Stimmritze also in der Richtung ihrer Tiefe von oben nach unten vergrössert, so nehmen die Brusttöne ceteris paribus an Höhe zu; durch diese Verengerung kann man auch das Uebergehen der Bruststimme in die Falsetstimme mehr als durch irgend etwas anderes verhüten. Die Verengerung wird, ohne die Stimmbänder selbst zu drücken, durch zwei Plättchen, z. B. platte Scalpelstiele bewirkt, die man convergirend von beiden Seiten so tief als möglich gegen die Seiten der Kehlkopfmembran einige Linien unter den unteren Stimmbändern eindrückt. Eine ähnliche Wirkung müssen am lebenden Körper die unteren Theile der Musculi thyreo-arytenoidei haben, welche wie musculöse Lippen an den Seiten dieses Isthmus liegen. Die Theorie dieser Wirkung ergiebt sich aus den Untersuchungen über die membranösen Zungen, s. oben p. 170., wo gezeigt wurde, dass ein Stopfen im Windrohr dicht vor der membranösen Zunge, mit enger, mittlerer Oeffnung den Ton der Zunge höher macht, als er bei der bestimmten Länge des Windrohrs ohne den Stopfen seyn würde.

Dieser Muskel ist aber auch noch in anderer Hinsicht von Wichtigkeit; er kleidet nicht bloss den verengerten Zugang zur Stimmritze aus und wirkt als Obturator dieser Stelle des Windrohrs, sondern er geht auch zur Seite der Stimmbänder, mit deren äusseren Fasern er innigst verwebt ist, ferner zur Seite der Morgagni'schen Ventrikel her, und kann daher bei seiner Wirkung die mit den Stimmbändern mitschwingenden Membranen, ja sie selbst von aussen dämpfen, wodurch, wie wir bei den Kautschuckzungen sahen, eine Erhöhung des Tons entsteht. S. oben p. 155. Endlich kann dieser Muskel auch die Tension der Stimmbänder dadurch verändern, dass sich seine Fasern in den äussern Umfang der Stimmbänder, wie neulich Lauth zeigte, einweben, was ich bestätigt sehe. Verkürzt sich dieser Muskel, so muss selbst ein schlaffes Stimmband, wie es für die tiefen Brusttöne seyn muss, etwas straffer durch die Verkürzung werden. Diese Wirkung des Muskels auf die schlaffen Stimmbänder ist ähnlich, wie die des Sphincter oris auf die Tension der Lippen beim Trompetenblasen. Man sieht, dass die jedesmalige Elasticität der Stimmlippen nicht bloss von der Ausspannung der Stimmbänder nach vorn und hinten, sondern auch von dem Grade der Tension ihres äussern musculösen Umfanges abhängig ist. Die Stimmlippen beschränken sich nicht auf die elastischen Bänder, sie sind nach innen elastisch bandartig, nach aussen musculös.

Man kann die Wirkung dieses Muskels auch durch seitliches Zusammendrücken des Schildknorpels (der nicht verknöchert seyn darf) ersetzen und hierdurch kann man die Brusttöne so hoch treiben, als es überhaupt leicht der menschlichen Stimme möglich ist. Sind die Stimmbänder abgespannt, so werden die Falsettöne dabei ganz vermieden,

Ein Kehlkopf gab bei der grössten Abspannung der Stimmbänder durch Rückwärtsbewegung der Cartilago thyreoidea bei fixirten Cartilagines arytenoideae den Brustton *c*. Durch geringere Abspannung und stärkeres Blasen liessen sich die Brusttöne bis *c*,

also im Umfang einer Octave steigern. Diess war die Grenze der Brusttöne, welche auf diese Weise erhalten werden konnten, wurde nun aber der Kehlkopf seitlich zusammengedrückt in der Gegend der Stimmbänder und unter dieser Gegend, so wurden die weiteren Brusttöne mit Leichtigkeit hervorgebracht und der Brustton stieg um so höher, je mehr die Zusammendrückung wuchs. Auf diese Art wurde wieder eine ganze Octave Brusttöne möglich bis $\overline{\overline{c}}$. Hier war eine unübersteigliche Grenze und die Zusammendrückung des Schildknorpels hatte den höchsten Grad erreicht. Bemerkenswerth ist noch, dass bei dieser Zusammendrückung die Fisteltöne ganz ausgeschlossen wurden. Es scheint daher, wenn man die Wirkung der Zusammendrückung des Kehlkopfs von den Seiten auf die Stimmbänder für eine Nachahmung der Wirkung des M. thyreo-arytenoideus ansehen will, dass gerade dieser Muskel, indem er den Stimmbändern eine musculöse Tension ertheilt, und indem er den Aditus glottidis inferior verengt, die Falsetstimme ausschliesst, die sonst schon ziemlich tief möglich ist. An dem vorhererwähnten Kehlkopf z. B. war der erste mögliche Falsetton *ais* vor $\overline{c}$ und von da an weiter, dennoch wurden alle Fisteltöne von $\overline{c}$ bis $\overline{\overline{c}}$ durch die stärkere Zusammendrückung des Kehlkopfs ausgeschlossen, und die höchsten Brusttöne bei immer mehr zunehmender Zusammendrückung noch bis $\overline{\overline{c}}$ möglich. Die Theorie der Brusttöne ist demnach diese:

1. Die Bänder schwingen in ganzer Breite, auch die mit ihnen verbundenen Membranen und der Musc. thyreo-arytenoideus.

2. Die tiefsten Brusttöne werden erhalten bei grösster Abspannung der Stimmbänder durch Rückwärtsbewegen des Schildknorpels.

3. Bei so grosser Abspannung sind die Stimmbänder nicht allein ganz ungespannt, sondern im Zustande der Ruhe auch runzelig und faltig; aber sie werden durch das Blasen ausgedehnt und dieses giebt ihnen die zum Schwingen nöthige Tension.

4. Indem man die Abspannung geringer werden lässt und dem Schildknorpel erlaubt, sich nach vorn zu begeben oder dem Zuge des elastischen Ligamentum crico-thyreoideum medium nachzugeben, steigen die Brusttöne bis gegen eine Octave.

5. Bei der mittlern ruhigen Stellung des Schildknorpels und der Cartilagines arytenoideae, wenn die Stimmbänder weder gespannt noch gefaltet sind, hat der Kehlkopf die Disposition zu seinen leichtesten mittleren Brusttönen. (Zwischen den mittleren und tiefsten Brusttönen liegen die der gewöhnlichen Sprache.)

6. Die zweite Octave tritt schon, indem aufwärts entsprechende Fisteltöne neben ihr liegen, mit diesen in Collision, letztere werden vermieden und die Brusttöne bis zur letzten Grenze gesteigert durch Zusammendrückung der Stimmbänder von den Seiten und Verengerung des Aditus glottidis inferior vermöge des Musculus thyreo-arytenoideus, dann auch wieder, wie schon vorher, durch stärkeres Blasen.

7. Bei den Brusttönen kömmt ausser den Stimmbändern

auch die musculöse Tension der Stimmlippen durch den Musculus thyreo-arytenoideus in Betracht.

8. Bei den Falsettönen schwingt bloss der innere oder Randtheil der Stimmbänder; sie hängen in Hinsicht der Höhe von der Spannung der Stimmbänder ab.

XX. *Der Kehldeckel, die oberen Stimmbänder, die* MORGAGNI'*schen Ventrikel, die Gaumenbogen, kurz alle vor den unteren Stimmbändern liegenden Theile sind weder zur Bildung der Brusttöne, noch der Falsettöne nöthig*, wie sich deutlich genug aus diesen Versuchen ergiebt.

XXI. *Die auf weiblichen Kehlköpfen leicht hervorzubringenden Töne sind im Allgemeinen höher.* Doch lassen sich auch tiefe Töne bei gänzlicher Abspannung der Stimmritze und Annäherung ihrer Ränder bis zur Berührung selbst bei kurzer Stimmritze hervorbringen. Die Stimmbänder der weiblichen Kehlköpfe sind im Allgemeinen viel kürzer als die der männlichen, hievon ist hauptsächlich die höhere Stimme der Weiber abzuleiten; so dürften die Register der männlichen Stimmen (Bass, Tenor), und der weiblichen Stimmen (Alt, Sopran) hauptsächlich und primitiv von der verschiedenen Länge der Stimmbänder abzuleiten seyn, obgleich der verschiedene Umfang des Kehlkopfes und die Stärke seiner Wände auch einen grossen Antheil hat. Bilden die Wände einen schwachen und kleinern Resonanzboden, so werden zwar tiefe Töne vielleicht noch möglich, aber klanglos seyn. Die längeren Stimmbänder der Männer werden zwar durch starke Spannung bei den Fisteltönen einigermassen ersetzen können, was die Weiber mit Leichtigkeit auf kürzeren Stimmbändern durch geringere Spannung hervorbringen. Indess hat diess nothwendig in der Contractionskraft der Muskeln seine Grenze. Muskeln können sich im Maximum ihrer Verkürzung nach SCHWANN doch nur um öhngefähr ein Drittel verkürzen *). Da die Spannung der Stimmbänder durch verschiedene Muskeln von hinten und vorn zugleich geschehen kann, und die Stücke, an welchen die Stimmbänder sich inseriren, einigermassen hebelartig sich bewegen können, so sind zwar die Mittel etwas grösser. Indess muss doch bald auf diesem Wege eine bestimmte Grenze in der Steigerung der Töne hervorgebracht werden. Bei der höchsten Spannung wird nur durch zufällige Berührung der Stimmbänder in einem aliquoten Theile ihrer Länge noch ein höherer schwacher Ton hervorgebracht werden können. Ich habe die Länge der Stimmbänder bei Männern und Weibern und ihr Verhältniss zu einander zu messen gesucht. Da nur die Länge der Stimmbänder selbst, nicht aber die ganze Länge der Stimm-

---

*) Der geringe, den Muskeln mögliche Grad der Verkürzung hat es nöthig gemacht, dass die Muskeln des Menschen überall nicht weit vom Hypomochlion des Hebels inserirt seyn dürfen. Würden sie weit davon sich inseriren, so würde zwar Kraft erspart werden, aber die Grösse der Bewegungen würde wegen des geringen Grades der Verkürzung der Muskeln abnehmen und der Biceps würde nicht mehr das Anlegen des Vorderarms an den Oberarm bewirken können, was er bei der Insertion nahe am Hypomochlion bei geringer Verkürzung kann.

ritze bis zur Pars inter-arytenoidea für die möglichen Fälle in Betracht kommen kann, so habe ich bloss die Länge der Bänder von ihrer vordern Insertion bis zu ihrer hintern Insertion am Vocalfortsatz der Basis der Cartilago arytenoidea gemessen. Bei der veränderlichen Spannung dieser Bänder ist, es nöthig, zur Vergleichung eine bestimmte Basis zu erhalten. Ich messe die Stimmbänder, ausser dem Zustand der Ruhe, im gespanntesten Zustande, also bei der grösstmöglichen Länge, welche sich ihnen durch Entfernung des Schildknorpels und der Cartilagines arytenoideae geben lässt. Im Allgemeinen sind die eigentlichen Stimmbänder bei den Weibern im Zustande der grössten Spannung um ein Drittel kürzer als die der Männer, doch kommen viele Variationen vor, welche in der folgenden Tabelle, in welcher die Messungen zusammengestellt sind, übersichtlich werden. Zu den Vergleichungen der Männer und Weiber wurden nur die Kehlköpfe von Individuen genommen, die über die Jahre der Pubertätsentwickelung hinaus sind. Ein kleiner Theil der Fasern des Stimmbandes heftet sich etwas weiter rückwärts, als das Ende des Vocalfortsatzes, am obern Rande dieses Fortsatzes bis gegen die vordere Kante der Cartilagines arytenoideae hin an. Dieser Theil des Stimmbandes ist bei dem Messen mitgezählt worden.

Maximum der	Männer.						Weiber.			Knabe von 14 Jahr.
Spannung	21 Millim.	21	25	26	23	23	16	15	16	14,5
Ruhe . .	18	16		21	19		12	12	14	10,5

Mittlere Länge der Stimmbänder des Mannes in der Ruhe $18\frac{1}{4}$ Millim.

Mittlere Länge der Stimmbänder des Weibes in der Ruhe $12\frac{2}{3}$ Millim.

Mittlere Länge der Stimmbänder im Maximum der Spannung: beim Mann $23\frac{1}{6}$ Millim., beim Weibe $15\frac{2}{3}$ Millim.

Die Längen der Stimmbänder des Mannes und des Weibes verhalten sich daher sowohl in der Ruhe, als im Maximum der Spannung ohngefähr wie 3 zu 2. Die Länge, um welche die Stimmbänder aus ihrer gewöhnlichen Länge durch Spannung vergrössert werden können, beträgt aber beim Mann etwas weniger als 5 Millim., beim Weibe 3 Millim.

Messungen beider Zustände an den Kehlköpfen verstorbener Bassisten, Tenoristen, Altisten und Sopranisten, und auch der Castraten würde für die Physiologie von dem grössten Interesse seyn, müssten aber vergleichend mit Messungen an anderen Kehlköpfen angestellt werden, damit die Vergleichungspuncte dieselben bleiben. Denn wenn man z. B. die Stimmbänder vom vordern Anfang bis zu der vorspringenden Spitze des Vocalfortsatzes misst, so werden die Quantitäten immer etwas kleiner als die vorn angegebenen ausfallen.

XXII. Bei gleicher Spannung der Stimmbänder durch ein Gewicht lässt sich durch stärkeres Blasen der Ton bis fast zu einer

Quinte und mehr in die Höhe treiben; alle halben Töne folgen mit Leichtigkeit. Wurde z. B. von *g* in der ersten Bassoctave des Claviers ausgegangen, welches beim schwächsten Blasen als Grundton der Stimmbänder angegeben wurde, so liessen sich durch successives Verstärken des Anblasens *g, gis, a, ais, h, c, cis* hervorbringen. Wurde nun die Spannung durch Gewichte so verstärkt, dass der Kehlkopf beim schwächsten Blasen die Octave von *g* oder *g* gab, so ging der Ton bei successivem stärkern Blasen in halben, ziemlich reinen Tönen in die Höhe bis zu *e*. Bei einem andern Versuch ging der Ton von *dis*, beim stärkern Blasen successiv bis *a* in die Höhe. Diess Steigen ist auch von Liscovius beobachtet worden; Ferrein hat es schon gekannt (*Mém. de l'acad. de Paris* 1741. 431.), aber zu geringe auf einen halben bis ganzen Ton angeschlagen. In diesem Puncte stimmt das Stimmorgan ganz mit einem künstlichen Kehlkopf mit membranösen Zungenblättern überein. Bei trockenen Blättern von Kautschuck lässt sich zwar, wie wir oben bereits bemerkten, durch Verstärkung des Anblasens der Grundton nur um einige halbe Töne steigern, aber bei elastischen nassen Zungenblättern, von demselben Gewebe wie die Stimmbänder, nämlich von der Carotis communis des Menschen, liess sich der Ton auch durch successives stärkeres Blasen von halben zu halben Tönen bis zu einer Quinte in die Höhe treiben. Hieraus geht hervor, dass man auf dem menschlichen Kehlkopf auf zweierlei Weise einen und denselben Ton *x* geben kann; einmal bei ruhigem schwachen Blasen, in diesem Fall müssen die Stimmbänder diejenige Länge und Spannung *y* haben, dass ihr Grundton der Ton *x* ist; zum andernmal, wenn die Stimmbänder bei der Länge und Spannung für einen tiefern Grundton innerhalb der nächst tiefern Octave durch starkes Anblasen bis zur Höhe des Tons *x* gestimmt werden. Beiderlei Töne sind an Klang sehr verschieden. Der mit ruhigem Blasen gebildete ist viel klangvoller als derselbe Ton, wenn er durch stärkeres Blasen bei geringerer primitiver Spannung gegeben wird, der letztere mit mehr oder weniger Anstrengung je nach der primitiven Spannung der Stimmbänder hervorgebracht, hat etwas Kreischendes, Schreiendes, und wird um so mehr klanglos, je weiter die primitive Spannung der Stimmbänder sich von der primitiven Spannung für den Grundton *x* entfernt. Ist das Maximum der Spannung erreicht, wobei die Stimmbänder den bei ruhigem Blasen höchsten möglichen Ton geben, so können durch stärkeres Anblasen noch einige schreiende, höhere Töne erzwungen werden. Die Erfahrung an uns selbst lehrt diess auch, und man sieht, wie weit man die Verhältnisse der Stimme des lebenden Körpers durch Versuche am Kehlkopf der Leiche erläutern und nachbilden kann.

XXIII. Wird die Luft bei einer bestimmten Spannung der Stimmbänder eingezogen, statt ausgestossen, so spricht der Ton in der Regel nicht an, zuweilen kam ein etwas tieferer, rasselnder Ton zum Vorschein. Vergl. oben das Bemerkte über die Kautschuckzungen p. 152.

XXXIV. Werden die Stimmbänder durch Berührung ihres äussern Theils gedämpft, so geben sie höhere Töne an, gerade so wie die Kautschuckbänder am künstlichen Kehlkopf.

XXXV. Die Länge des Anspruchsrohrs und Ansatzrohrs hat auf den Ton der Stimmbänder keinen solchen merklichen Einfluss, wie auf den Ton der Kautschuckzungen. Magendie vermuthet, dass nach Analogie der Zungenpfeifen von Grenié die Länge der Windlade am menschlichen Kehlkopf, oder die Länge der Luftröhre auf die Veränderung des Tons Einfluss haben könne. Die Versuche am künstlichen Kehlkopf mit Kautschuckbändern und die Versuche am Kehlkopf selbst stimmten in diesem Puncte nicht sonderlich überein, und die letzteren bestimmen mich der wenig veränderlichen Länge der Luftröhre allen Einfluss auf die Veränderung der Höhe der Töne abzuspsrechen.

Bei Verlängerung des Windrohrs durch verschiedene Stücke von kleinen zu grossen Dimensionen ist es mir unter möglichst gleichem Blasen für den Grundton einer bestimmten Spannung nicht möglich gewesen den Ton um ein merkliches zu vertiefen, was doch gewöhnlich bei Kautschuckzungen, ja sogar Arterienhautbändern leicht gelingt. In vielen Fällen schien die Verlängerung und Verkürzung des Windrohrs gar keinen Einfluss auf die Veränderung des Tons zu haben; in andern Fällen gelang durch Verlängerung des Windrohrs eine Vertiefung von einem halben, sehr selten von einem ganzen Ton bei gleich schwachem Blasen. Auch wenn bei bestimmter Länge des Windrohrs ein Ansatzrohr vor die unteren Stimmbänder gebracht wurde, war der Einfluss dieses eben so gering. Die letzteren Versuche sind viel schwerer als die mit Verlängerung des Windrohrs auszuführen, weil es schwer ist, ein Ansatzrohr vor den unteren Stimmbändern anzubinden, und weil sich, wenn diess auch angeht, den Stimmbändern jetzt schwer eine bestimmte Spannung geben lässt. Auf folgende Weise gelangt man zum Zweck: Man binde erst die hinteren Enden der Stimmbänder durch einen dicht an den Vocalfortsätzen der Cartilagines arytenoideae durchgezogenen Faden aneinander. Hierdurch wird der Anspruch gesichert. Die Fäden der Ligatur werden rückwärts über die häutig musculöse Zwischenwand der Cartilagines artytenoideae herausgeleitet. Kehldeckel, Ligamenta ary-epiglottica, Santorini'sche Knorpel und die häutige Zwischenwand zwischen den Cartilagines arytenoideae müssen bei diesem Versuch zum Anbinden eines Ansatzrohrs von 6—8 Linien Durchmesser noch am Kehlkopf bleiben. Der obere Rand des Schildknorpels hingegen wird zur Erleichterung des Anbindens des Ansatzrohrs abgeschnitten. Auf das kurze Ansatzstück können nun neue Ansatzstücke von gleichem Caliber aufgesetzt werden. Der Kehlkopf wird dann fixirt, die Cartilagines arytenoideae von hinten durch eine Ligatur genähert und nun ertheilt man den Stimmbändern von der durch eine kleine Oeffnung ausgeleiteten Schnur, womit der hintere Theil der Stimmbänder zusammengebunden ist, eine bestimmte Tension. Beim Blasen wird die Oeffnung, wodurch die Schnur aus der Kehlkopfhöhle rückwärts abgeht, zugehalten. Bei diesen Versuchen

welche unter die allerschwierigsten gehören, habe ich mich auch von keinem erheblichen Einfluss der Länge des Ansatzrohrs auf den Ton der Stimmbänder überzeugen können, wie oft ich die Versuche auch wiederholt. Die mögliche Vertiefung betrug in einigen seltenen Fällen auch nur einen halben Ton, viel seltener gegen einen ganzen Ton, in den meisten Fällen entstand gar keine merkliche Veränderung.

Diess scheint ein Unterschied zwischen dem natürlichen und künstlichen Kehlkopf zu seyn, bei welchem letztern, sowohl wenn Kautschuckbänder als wenn nasse Arterienhautbänder angewandt wurden, die Vertiefung bei Verlängerung des Ansatzrohrs in den p. 161. erläuterten Grenzen auffallend war. Indessen ist dieser Unterschied nicht absolut, denn zuweilen, besonders bei schwierigem Anspruch, bei zu lose oder zu stark gespannten Bändern, gaben diese auch keine oder nur eine sehr unbedeutende Vertiefung des Tons bei Verlängerung des Ansatzrohrs oder Windrohrs. Siehe oben p. 159. Ich habe manche Versuche darüber angestellt, wovon dieser Unterschied abhängen kann. Die wahrscheinlichste Erklärung scheint mir diese zu seyn: Am Kehlkopf kommen hauptsächlich bei einiger Spannung nur die Schwingungen der Stimmbänder selbt in Betracht, indem die Membran, welche den Seitenumfang der Stimmbänder mit den Wänden des Kehlkopfs verbindet, nicht gespannt wird. Bei künstlichen Kehlköpfen mit Kautschuckbändern oder Arterienhautbändern kömmt aber nicht bloss ihre Spannung in zwei Richtungen an ihrem Rand hin in Betracht, sondern auch der mehr schlaffe Theil der Kautschuckplatten und Arterienhaut wirkt auf die Schwingungen des Randtheils ein, wie man an der leisen Dämpfung dieses Theils sieht. Vermöge dieser grössern Breite und des Zusammenhanges des gespannten und ungespannten Theils der continuirlich elastischen Membranen, sind diese auch zu viel mehr Modificationen von Schwingungen und Tönen bei den von der Länge des Ansatzrohrs und Windrohrs ausgehenden Bedingungen fähig, als bei den Stimmbändern, wo die primitiven Schwingungen hauptsächlich auf die Stimmbänder beschränkt sind.

Ich dachte, dass vielleicht die membranöse dehnbare Beschaffenheit des Windrohrs, die Luftröhre am Kehlkopfe auch Antheil an dem geringern Einfluss der Ansätze hätte. Diess hat sich jedoch nicht bestätigt, denn wenn ich der Luftröhre ein hölzernes Rohr substituirte, so erhielt ich keine grösseren Veränderungen des Tons durch die Ansätze. Vielleicht haben indess die Membranen zwischen den Knorpeln des Kehlkopfs, in sofern sie vom Wind ausgedehnt werden, doch einigen Antheil an jener Verschiedenheit vom künstlichen Kehlkopf, dessen Wände durchgängig fest sind.

Bei den Versuchen über den Einfluss der Ansätze auf den Ton der Stimmbänder am Kehlkopf selbst, schien mir zuweilen bei einer bestimmten Länge des Windrohrs der Ton weniger gut anzusprechen als bei anderen, wie solches auch bei den Kautschukzungen bemerkt wurde. Es hängt davon ab, dass die Luftsäule sich nicht gut den Zungen accomodiren kann. Wheatstone

(Mayo *Outlines of physiology.*) hat bereits diesen Umstand bei anderen Zungenpfeifen hervorgehoben und Bishopp legt viel Werth auf die gegenseitige Accomodation der Luftsäulen vor und hinter den Stimmbändern im lebenden Zustande. Dieser Einfluss ist indess bei meinen Versuchen sehr gering gewesen und mir nur einigemal unter vielen Fällen vorgekommen, daher ich dieser Accomodation, auf meine Erfahrungen gestützt, am menschlichen Stimmorgan nicht den Einfluss zuschreiben kann, den ihr Bishopp zuschreibt. Im Gegentheil zeigt sich deutlich, dass man auf Verkürzung und Verlängerung der Luftröhre, auf Verlängerung und Verkürzung des Raumes vor den Stimmbändern durch Herabsteigen und Heraufsteigen des Kehlkopfs bei der Veränderung der Töne beim Menschen sehr wenig rechnen kann. Man kann nur höchstens so viel annehmen, dass die Verlängerung des Rohrs vor den unteren Stimmbändern durch Herabsteigen des Kehlkopfs und die Verkürzung durch Aufsteigen, im ersten Fall die Bildung der tiefen Töne ceteris paribus, die Bildung der höheren Töne im zweiten Fall erleichtere, was wenigstens durch den Erfolg an lebenden Menschen bestätigt wird.

XXVI. Die zum Theil membranöse Beschaffenheit der Luftröhre als Windrohr wirkt nicht merklich modificirend auf den Ton der Stimmbänder, und die Luftröhre verhält sich zum Ansprechen so wie ein hölzernes Rohr von derselben Weite. In dieser Hinsicht verhalten sich die Zungenpfeifen mit membranösen Zungen und theilweise membranösem Windrohr ganz anders, wie die membranösen Labialpfeifen mit schwingender Luftsäule, bei welchen nach Savart's Entdeckungen die Mitschwingung der membranösen Wände der Pfeife die Hauptschwingungen der Luftsäule bedeutend modificirt. Dieser Einfluss geht hier so weit, dass eine Labialpfeife aus dünner nasser Pappe den Ton um eine ganze Octave um den einer gleich langen Labialpfeife von festen Wänden erniedrigen kann. Froriep's *Not.* 332. p. 21. Bei den sehr kurzen kubischen Pfeifen ist die Erniedrigung noch viel grösser und kann zwei ganze Octaven betragen. Siehe oben p. 141. Ich setzte ein Windrohr zu $7\frac{1}{2}$ Zoll Länge aus 3 Zoll Luftröhre des Menschen und $4\frac{1}{2}$ Zoll Holzröhre zusammen. Der Ton einer Kautschuckzunge durch diess Rohr angeblasen, war derselbe als bei einem gleich langen festen Windrohr. Auch die Dämpfung des membranösen Theils der Luftröhre mit der Hand hatte keinen irgend merklichen Einfluss.

XXVII. Das doppelte Ansatzrohr am menschlichen Stimmorgan nämlich, Mundrohr und Nasenrohr scheint in Hinsicht der Höhe des Tons nicht anders als ein einfaches Ansatzrohr zu wirken, verändert aber den Klang des Tons durch die Resonanz. Ich habe diesen Einfluss an einem künstlichen Kehlkopf mit Kautschuckbande zu bestimmen gesucht, der in ein kurzes Ansatzrohr endigte, an welches eine gabelig getheilte Röhre angelegt werden konnte. Der Ton war in der Höhe derselbe als bei einfachem Ansatz von derselben Länge, aber klangvoller.

XXVIII. Die Deckung der obern Kehlkopfhöhle durch Herabdrücken des Kehldeckels vertieft den Ton etwas und macht ihn zu-

gleich dumpfer. Diess ist ganz der Deckung eines kurzen Ansatzrohrs am künstlichen Kehlkopf analog. Siehe oben p. 167. Wir bedienen uns offenbar auch dieses Mittels zur Erzielung bedeutender Tiefe. Diess scheint wenigstens der Zweck des Herab- und Zurückziehens der Zunge bei vorwärts gesenktem Kopfe bei erzwungenen tiefen Basstönen zu seyn.

XXIX. Im Uebrigen scheint der Kehldeckel bei der Modification der Töne von keiner Bedeutung zu seyn. Ich befestigte einen menschlichen Kehldeckel im Umfang eines Ansatzrohrs nahe vor der Kautschuckplatte eines künstlichen Kehlkopfs, ohngefähr so weit davon entfernt als er im natürlichen Kehlkopf von der Stimmritze entfernt ist. Der Ton war beim Anblasen des künstlichen Kehlkopfs kein anderer, als wenn der Kehldeckel aus dem Ansatzrohr herausgenommen war, doch musste der Kehldeckel frei mitschwingen können; war er so befestigt, dass er mehr verstopfend wirkte, so war auch die Folge wie beim Verstopfen auf andere Art. Der Orgelbauer Grenié hat dem Hinaufgehen des Tons in den Zungenpfeifen mit metallischer Zunge bei stärkerm Blasen dadurch abzuhelfen gesucht, dass er ein schwingendes Blatt vor der Zunge anbrachte, und Biot und Magendie vermuthen, dass der Kehldeckel am Kehlkopfe eine ähnliche Function haben könne. Directe Versuche, die ich darüber anstellte, sind dieser Idee nicht günstig. Der Ton kann ceteris paribus bis zu einer Quinte successiv durch Blasen gesteigert werden, mag der Kehldeckel vorhanden seyn oder nicht.

Fühlt man mit dem Finger an sich bis zum obern Rande des Kehldeckels, so kann man bemerken, dass der Kehldeckel dieselbe Stellung behält, mag man den Ton mit der Fistel- oder Bruststimme singen.

XXX. Die Gaumenbogen verengern und das Zäpfchen verkürzt sich bei höheren Brusttönen, wie bei den Falsettönen, und bei denselben hohen Ton ist der Isthmus faucium gleich eng, mag der Ton ein Brustton oder Falsetton seyn. Auch kann man in beiden Fällen die Gaumenbogen mit den Fingern berühren, ohne dass der Ton verändert wird. Man kann alles diess sehr gut erfahren beim Einbringen des Fingers von der Seite in den Mund bis in den Isthmus. Hieraus widerlegt sich die Ansicht von Bennati, dass die Gaumenbogen am Falset Antheil haben oder es hervorbringen. Die einfache Thatsache der Verengerung der Gaumenbogen bei höheren Tönen ist von Fabricius ab Aquapendente zuerst beobachtet, in neuerer Zeit von Mayer, Bennati, Dzondi bemerkt.

XXXI. Die Verengerung des Anfangs des Ansatzrohrs oder der obern Kehlkopfhöhle dicht vor den unteren Stimmbändern kann nach der Theorie der Zungenpfeifen den Ton etwas erhöhen. Indessen lässt sich diess durch Versuche nicht beweisen, da die Zusammendrückung der obern Kehlkopfhöhle am ausgeschnittenen Kehlkopf ohne einige Wirkung auf die Stimmbänder nicht gut möglich ist. Einfache Verengerung hat keinen merklichen Einfluss.

XXXII. Die Morgagni'schen Ventrikel haben offenbar bloss

den Zweck die Stimmbänder von aussen frei zu machen, damit ihre Schwingungen ungehindert sind. Diess ist auch bereits von Mehreren, wie Malgaigne, Ch. Bell u. A. angegeben. Der erstere vergleicht jene Ventrikel mit der Aushöhlung des Mundstücks der Trompete, welche die Lippen frei macht.

C. Allgemeine Folgerungen.

Aus den Versuchen am künstlichen Kehlkopf mit membranösen Zungen sowohl, als aus dem im Wesentlichen ganz übereinstimmenden Erfolg der vorerwähnten Versuche am Kehlkopf des Menschen selbst ergiebt sich, dass das menschliche Stimmorgan ein Zungenwerk mit membranösen doppelten Zungen ist. Diess ist bereits die Ansicht mehrerer Physiker, wie Biot, Cagniard la Tour, Muncke, theoretischer Musiker, wie Gottfr. Weber, und Physiologen, wie Magendie, Malgaigne u. A. Ferrein hatte schon im Jahre 1741 (*Mém. de l'acad. d. sc.*) durch Versuche an Leichen über das Tönen der Stimmmbänder, und ihre veränderte Stimmung je nach ihrer Länge und Spannung einen guten Grund zu dieser Theorie vorbereitet. Selbst Savart (Magend. *J. d. Physiol.* 5.), welcher die Vergleichung des Stimmorgans mit einem Zungenwerk anfocht, gab zu, dass, wenn man Töne durch Blasen in die Luftröhre bei abgeschnittenem vordern Theil des Kehlkopfes bis auf die unteren Stimmbänder hervorbringe, diese Töne auf dieselbe Art hervorgebracht werden, wie die Töne der Zungen; er hielt zwar diese Töne den Tönen der menschlichen Stimme unähnlich, indess kann ich bei der von mir angewandten Methode keinen wesentlichen Unterschied des Klanges finden; ich erhalte Brusttöne und Falsettöne mit dem ganzen Klang dieser Register je nach den angegebenen Bedingungen, und was verschieden ist, mag durch das Ansatzrohr am Stimmorgan erzeugt werden. Savart hielt für das eigentlich Tönende die Luft der Seitenventrikel des Kehlkopfes zwischen den oberen und unteren Stimmbändern, und verglich diesen Apparat mit den von ihm erläuterten Lockpfeifen der Jäger, oder kleinen Labialpfeifen mit tönender Luftsäule. Siehe oben p. 140. Indess ist der elastische Apparat der unteren Stimmbänder und die Organisation zu ihrer Spannung zu deutlich auf ein Zungenwerk berechnet, als dass man auf jenen Einwurf des um die Akustik so höchst verdienstvollen Physikers grossen Werth legen könnte; überdiess werden auch an Kehlköpfen, deren Seitenventrikel und vordere Stimmbänder man unversehrt lässt, die Töne eben so sehr durch die verschiedene Spannung der unteren Stimmbänder modificirt, als wenn jene Theile bis auf die unteren Stimmbänder weggenommen sind. Diejenigen Säugethiere (Wiederkäuer), denen die oberen Stimmbänder fehlen, schliessen ohnehin schon die Theorie von Savart aus. Der ganze Apparat vor den unteren Stimmbändern mag wohl auf die Modification des Tons einigen Einfluss haben, wie das Ansatzrohr an dem Mundstück der Zungenwerke, besonders durch Verengerung der obern Kehlkopfhöhle, weniger der Länge des Ansatzrohrs, und am menschlichen Stimmorgan kann dieser vordere Theil des Kehlkopfes so modificirt werden, wie es an dem Ansatz-

rohr eines Zungenswerks nicht möglich ist auszuführen. Indessen bleibt die Hauptursache der Töne immer das Schwingen der unteren Stimmbänder selbst, und die Töne erfolgen auf diesen elastischen Membranen eben so einfach, wie auf dem Sphincter ani, bei welchem die Spannung des Schliessmuskels durch Muscularcontraction die Eigenelasticität der Stimmbänder ersetzt.

Fechner (bei Biot) macht den Einwurf, dass wenn das Stimmorgan eine Zungenpfeife wäre, während geöffneter Stimmritze gar kein Ton hervorgebracht werden könne; da nach der Theorie der Mundstücke dieser nur von abwechselnder Oeffnung und Schliessung der Stimmritze vermöge periodischer Unterbrechung des Luftstromes abhängen könnte; die Stimmbänder aber sehr wohl schwingen können, ohne die Stimmritze periodisch zu schliessen, und also die Erzeugung der Töne wirklich unabhängig von dieser Verschliessung sey. Indessen haben wir oben deutlich gezeigt, dass jene Theorie von der Erzeugung der Töne an den Zungen nicht so richtig ist, als man gewöhnlich annimmt; denn durch blosse, an zarten Zungen vorbeigeleitete Luftströme lassen sich eben solche Töne und von demselben Klang hervorbringen, als wenn die Zungen wie Klappen bewegt werden; überdiess giebt es eine Stellung der Zunge an einem Zungenwerk, sowohl bei metallischer als membranöser Zunge, wo die Zunge gar nicht mehr als Klappe sich bewegt, sondern frei vor der Mündung durch den starken Luftstrom schwingt, indem der Luftstrom so stark ist, dass die Zunge, ehe sie die Oeffnung schliessen kann, schon wieder abschwingt. Endlich lassen sich am künstlichen Kehlkopf mit Kautschuckbändern die Zungentöne oft noch bei ansehnlicher Spalte der Zungenlippen angeben. Siehe über die Theorie der Zungentöne p. 174.

Was die Vergleichung der Stimmbänder mit Saiten betrifft, (Ferrein), so hat diese allerdings etwas Richtiges, ist aber in anderen Puncten unrichtig. Ferrein's Versuche, welche diese Aehnlichkeit zeigen, gehören unter die besten, die je gemacht worden sind. Er zeigte (*Mém. de l'acad. d. sc.* 1741.), dass die Stimmbänder nach Analogie der Saiten, die von der Luft angesprochen werden, tönen, und dass die Töne der Stimmbänder bei verschiedener Weite der Stimmritze durchaus nicht verändert werden. Die Hälfte der Stimmbänder gab ihm die Octave ihres Grundtons, der dritte Theil die Quinte. Endlich fand er, dass eine Veränderung der Länge der Bänder von 2—3 Linien zu allen Variationen der Höhe hinreiche (indem die Spannung hier ersetzt, was bei gleicher Spannung verschieden lange Saiten thun). Wurden gleich diese Versuche von Bertin bestritten, so wurden sie von Montagnat, Runge und Nollet bestätigt. Haller *Elem. physiol. III. Lib. IX.* §. 8. 9. 10. In der That zeigen die früher erwähnten, von mir angestellten Versuche am künstlichen Kehlkopf eine vollkommene Parallele. Die Hälfte einer Kautschuckzunge gab die Octave ihres Grundtons, und die Versuche mit mensurirter Spannung der Stimmbänder zeigen auch, dass diese Zungen ihre Schwingungen im Allgemeinen ziemlich wie die Saiten ändern. Ich kann Biot nicht beistimmen, wenn er

sagt: Was ist im Kehlkopf vorhanden, das einer schwingenden Saite ähnlich wäre, wo fände sich hinreichender Platz, um einer solchen Saite die für die tieferen Töne erforderliche Länge zu geben? Wie könnte man jemals Töne von einem Umfange, wie es bei Menschen stattfindet, daraus hervorlocken? Die einfachsten Grundsätze der Akustik widerlegen hinreichend diese seltsame Meinung. *Lehrbuch der Experimentalphysik.* 2. 143. Dieser Einwurf lässt sich leicht widerlegen. Jede membranöse Zunge schwingt nach den Gesetzen der Saiten, wie eine metallische Zunge nach den Gesetzen der Stäbe. Eine Saite würde bei jeder beliebigen Verkürzung noch tiefe Töne hervorbringen können, wenn sie bei der nöthigen Abspannung noch Elasticität genug hätte. Diesen Grad der Elasticität haben aber die elastischen Membranen und Kautschuckblätter bei grosser Abspannung noch, und wir haben gesehen, dass diese kurzen Bänder bei der Verkürzung im umgekehrten Verhältniss der Länge, wie die Saiten ihre Töne ändern. Kleine Kautschuckblätter geben sogar gespannt selbst durch Anstoss klare Töne von sich, obgleich sie nicht nachhaltig sind wie bei langen Saiten. Der continuirliche Anstoss der Luft beim Anblasen macht aber diese Töne nachhaltig, anhaltend; er macht eine durch den einfachen Anstoss als Saite schwingende Lamelle zur Zunge. In dieser Hinsicht stimmen also die Stimmbänder ganz mit den Saiten überein, und der einzige Unterschied liegt in dem ansprechenden Körper. Bis dahin ist die Vergleichung von Ferrein vollkommen richtig.

In einem andern Puncte weichen indess die Stimmbänder ganz von den Saiten ab, und dieser Unterschied ist gross genug, um diesen wie anderen membranösen Zungen eine eigene Stelle in den musikalischen Instrumenten zu sichern. Der stärkere Anstoss lässt eine Saite tiefer tönen; das stärkere Anblasen erhebt hingegen den Ton einer membranösen Zunge um einen, zwei und mehr halbe Töne, und wenn die elastischen membranösen Zungen nass sind (Stimmbänder und Bänder von Arterienhaut), sogar um viele halbe Töne. Die Metallzunge einer Kinderschalmey tönt immer höher bei stärkerm Blasen ohne Intervalle bis anderthalb Octaven, wie ich sehe, und wenn sich andere Metallzungen nicht so verhalten, so ist es bloss eine Folge ihrer Stärke im Verhältniss zum Luftstrom. Bei einer Zunge hängt also die Höhe des Tons von der Zunge und der stossenden Luft zugleich ab. Wird hingegen eine Saite einmal angestossen, so wirkt der Anstoss nicht weiter nach und modificirend auf die Schwingungen ein, und die Saite ist den Schwingungen allein überlassen, welche aus ihrer Länge und Spannung folgen. Siehe das Nähere oben p. 174.

Mehrere Physiologen, worunter Dodart, Liscovius, legen in die Weite oder Enge der Stimmritze und in die an dieser Stelle hervorgebrachten Luftschwingungen die wesentliche Ursache der Stimme. Obgleich Dodart (*Mém. de l'acad. d. sc.* 1700.) den Einfluss der Spannung der Stimmbänder auf Veränderung des Tons wohl kannte, so erklärte er doch die Erzeugung der verschiedenen Töne zuletzt nur aus der Grösse der Oeffnung, indem

die verschieden gespannten Stimmbänder bei dem Durchgehen der Luft schwingend durch die Stimmritze eine verschiedene Oeffnung zulassen. Eine Veränderung der Stimmritze um $\frac{1}{54}$ eines Seidenfadens, oder $\frac{1}{384}$ eines Haars gebe schon einen andern Ton. Diess ist indess vollkommen unrichtig. Denn selbst eine auffallende Veränderung der Weite der Stimmritze hat, wenn nur die gleiche Spannung der Stimmbänder gesichert ist, keine Aenderung der Höhe des Tons zur Folge. Liscovius Ansicht (*Théorie der Stimme, Leipz.* 1814.) ist diese: die Stimmritze selbst und ihre verschiedene Weite sey es, worauf es bei Entstehung der Stimme und ihrer mannigfaltigen Höhe und Tiefe vorzüglich ankomme. Indem die Luft mit einiger Gewalt und Schnelligkeit durch diese enge Oeffnung hindurchdringt, werde sie dabei also zusammengedrückt und erschüttert, dass alle ihre kleinsten Theilchen hin und her bewegt werden. Etwas Aehnliches sehe man in allen anderen Fällen, wo die Luft durch irgend eine enge Oeffnung hindurchgetrieben werde. Je grösser nun die Oeffnung der Stimmritze sey, desto tiefer der Ton, weil dadurch grössere und folglich langsamere Luftwellen entstehen.

Liscovius Einwürfe gegen das Tönen der Bänder selbst sind diese: Nach ihm sollen die Stimmbänder bei tiefen Tönen angespannt, bei hohen erschlafft werden. Denn bei tiefen Tönen erweitere sich die Stimmritze und ihre Bänder weichen auseinander. Sobald aber eine Oeffnung bei unverletztem Zusammenhange erweitert werde, müssen nothwendig die Ränder der Oeffnung ausgedehnt werden. So sey keine Erweiterung der Stimmritze möglich ohne gleichzeitige Anspannung der Stimmbänder, und folglich seyen die Stimmbänder bei tiefen Tönen gespannt, bei hohen erschlafft. Diess ist offenbar ein Missverständniss. Giebt man den Stimmbändern eine bestimmte Spannung durch die früher beschriebene Vorrichtung, so lässt sich bei gleicher Spannung die Weite der Stimmritze ganz beliebig verändern. Die Stimmritze kann sonst bei gespannten und erschlafften Bändern sowohl weit als enge seyn. Dann bemerkt Liscovius, dass nur trockne Saiten elastisch seyen; die Stimmbänder aber seyen immer nass. Die Saite ist indess nur eine bestimmte Species der fadenförmigen, durch Spannung elastischen Körper. Diese Species verliert ihre Elasticität, wenn sie nass ist. Das elastische Gewebe im menschlichen Körper ist hingegen nur elastisch, wenn es nass ist, und verliert seine Elasticität, wenn es trocken ist. Diess sind singuläre Verschiedenheiten, welche die feststehenden Gesetze der fadenförmigen, durch Spannung elastischen Körper nicht verändern.

Der Einwurf, dass die Stimmbänder als Bänder unmöglich einen Umfang von Tönen und diese Tiefe haben könnten, ist schon oben erledigt. Man hat sich bei dem Vergleich der Stimmbänder mit Saiten pro und contra viel zu sehr an dieser Species von fadenförmigen, durch Spannung elastischen Körpern aufgehalten und ist dadurch auf Missverständnisse gekommen. Substituirt man den Darmsaiten mehr elastische Fäden von Kautschuck oder thierischem elastischen Gewebe, so fällt alles Zufällige, was uns gerade die Darmsaiten darbieten, weg.

Liscovius bemerkt, dass keine Saite von blosser Luft so sehr erschüttert werden könne, um starke Töne hervorzubringen. Kautschuckbänder und Bänder von nassem, thierischem, elastischem Gewebe geben, von dem feinen Luftstrom aus einem Röhrchen frei angeblasen, die stärksten Töne an.

Dass die Anspannung und Erschlaffung der Kehlbänder auf die Höhe und Tiefe des Tons weiter keinen Einfluss habe, als nur in sofern dadurch die Stimmritze erweitert oder verengert werde (Liscovius a. a. O. 30.), dem muss ich meine constante Erfahrung entgegensetzen, dass bei gleicher Weite der Stimmritze die Töne im Umfange von zwei Octaven durch blosse veränderte Spannung der Stimmbänder hervorgebracht werden.

Wenn Liscovius beim Einblasen in die Stimmritze das eine Stimmband stark anspannte und das andere zu gleicher Zeit sehr erschlaffte, so entstanden nicht zwei verschiedene Töne, sondern es war durchaus nur ein einziger Ton herauszubringen, dessen Höhe im Verhältniss stand mit der Weite der Oeffnung der Stimmritze. Die erste Beobachtung ist vollkommen richtig. Die Stimmbänder verhalten sich hierbei aber ganz wie gespannte Kautschuckbänder. Wir haben oben gezeigt, dass bei ungleicher Spannung gewöhnlich nur eines der Bänder tönt, das andere sich als Rahmen verhält. Selten sprechen aber wirklich zwei Töne an, der Grundton des einen und andern Kautschuckbandes, und ebenso verhält es sich mit den Stimmbändern.

Wenn Liscovius die Stimmbänder mit dem Finger berührte, doch ohne die Weite der Stimmritze dadurch zu verändern, so blieb dennoch der Ton ganz derselbe, da doch, wenn hier die Gesetze der Saiten stattfänden, der Ton dadurch hätte erhöht werden müssen. Meine Erfahrungen an Kautschuckbändern zeigen übereinstimmend mit meinen Beobachtungen an den Stimmbändern, dass eine Dämpfung der Stimmbänder durch Berührung in der That den Ton bedeutend modificirt, auch dann, wenn die Weite der Stimmritze gleichbleibt.

Durch blosse Verkleinerung der Stimmritze ohne veränderte Spannung der Stimmbänder werde der Ton höher, durch blosse Erweiterung der Stimmritze ohne veränderte Spannung der Stimmbänder werde der Ton tiefer; die Höhe des Tons hänge aber nicht von der Breite der Stimmritze allein, sondern von der gesammten Weite, d. h. von der Länge und Breite zugleich ab. Ich finde, dass die tiefen Töne noch bei sehr kurzer Stimmritze hervorgebracht werden können, sobald die Bänder nur ganz schlaff sind; mit der Verkürzung der Stimmritze von vorn nach hinten steigt zwar im Allgemeinen die Höhe des Tons, aber nur bei gleichbleibender Spannung. Die Breite der Stimmritze hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Tons, als nur, in sofern bei breiter Stimmritze kein gutes Anblasen von der Luftröhre aus möglich ist. Bei breiter Stimmritze spricht daher die Stimme nicht allein schlecht an und der Ton wird klanglos, sondern es kann auch bei breiterer Stimmritze nur der Grundton der Stimmbänder gegeben werden, und durch stärkeres Blasen lässt sich begreiflich der Ton nur wenig heben; dagegen bei enger

Stimmritze unter gleichbleibender Spannung nicht bloss der Grundton bei schwachem Blasen, sondern durch Verstärkung des Blasens auch alle halben Töne bis über die Quinte angegeben werden können.

Der Einfluss der Stärke des Blasens auf die Erhöhung des Tons ist von Liscovius und Lehfeldt vollkommen richtig beobachtet. Jener sah schon, dass bei gleicher Weite der Stimmritze und gleicher Spannung der Bänder der Ton desto tiefer war, je schwächer das Einblasen, desto höher, je mehr dasselbe verstärkt wurde. So konnte Liscovius den Ton durch blosse Verstärkung des Windes um eine ganze Quinte hinauftreiben, wobei er kreischend wurde, womit unsere Beobachtungen vollkommen übereinstimmen.

Ein Hauptpunct in der Theorie der Brust- und Falsettöne, dass beim Brustton die ganzen Bänder, beim Falsetton die Ränder schwingen und dass der Falsetton ceteris paribus höher ist, ist zuerst von Lehfeldt entdeckt, a. a. O. p. 51. 58. 59.

Ferrein, Liscovius und Lehfeldt haben sich bisher die meisten Verdienste um die Theorie der Stimme erworben.

Die Lehren der Aelteren sind sehr gut zusammengestellt und aus eigener Anschauung beleuchtet in Lehfeldt *de vocis formatione diss. Berol.* 1835. Von den Lehren und Beobachtungen der Neueren findet sich eine sehr vollständige Zusammenstellung in Heusinger's Ausgabe von Magendie's Physiologie.

D. Vom Gesang.

Die Folge der auf dem Stimmorgan möglichen Töne ist eine dreifache. Die erste Art ist die monotone Folge. Hier behalten die folgenden Töne fast dieselbe Höhe. So ist es bei der Sprache, wo die Articulation im Munde zu dem Stimmton hinzutritt und die Verschiedenheiten erzeugt, doch bleiben schon bei der Sprache die Töne selten auf ihrer Höhe (eine solche Aussprache ist die der Ausrufer), sondern sie betont einzelne Silben etwas höher, worauf der Accent ruht. In der Poesie tritt der Rhythmus hinzu, aber die Modulation der Musik fehlt. Die zweite Art der Folge ist der successive Uebergang von Tönen, welche an Höhe ohne Intervalle wachsen und fallen. Diess Fallen und Steigen der Töne findet bei dem heulenden Schrei der Menschen statt, wenn dieser Ausdruck der Gemüthsbewegungen ist, und begleitet namentlich das Weinen, bildet auch das Heulen und Winseln der Hunde. Beides ist ein successives Detoniren ohne Beobachtung der musikalischen Intervalle, wie sich dergleichen auch auf Instrumenten hervorbringen lässt und in der Natur oft entsteht. Der Wind heult, die Saite giebt ein heulendes Detoniren, wenn sie beim Tönen abgespannt und stärker gespannt wird; eine zweizöllige Labialpfeife giebt successiv und unmerklich an Höhe steigende Töne, wenn sie stärker angeblasen wird. Siehe oben p. 178. Eine membranöse Zunge zeigt dasselbe, und in diesem Fall befinden sich auch die Stimmbänder. Bei dem Geheul muss das Detoniren theils durch Wachsen und Abnehmen der Stärke des Anspruchs, theils durch successive Veränderung der Spannung der Stimmbänder entstehen. Die dritte Art der Tonfolge auf dem Stimmorgan ist die musikalische, wobei jeder Ton die erforderli-

che Zahl seiner Schwingungen behält und die folgenden Töne nur in den Zahlenverhältnissen oder Intervallen des musicalischen Systems der Töne angegeben werden. Sie hat mit der Poesie den Rhythmus gemein.

1. *Umfang.* Der Umfang der Stimme eines Individuums beträgt 1—2—3 Octaven, bei Sängern, d. h. zum Gesang tauglichen 2—3 Octaven. Aber die männlichen und weiblichen Stimmen fangen an verschiedenen Stellen der Tonleiter an und hören an verschiedenen Stellen der Tonleiter auf. Versteht man unter *C* das grosse *C* der achtfüssigen offenen oder vierfüssigen gedeckten Orgelpfeife, so beginnen die Männerstimmen bei *E* (Bass), oder *A* (Baryton), oder *c* (Tenor), und reichen bis *a* und weiter (Bass), oder bis $\overline{f}$ (Baryton), oder bis $\overline{\overline{c}}$ (Tenor). Die Weiberstimme ist nur bei Viragines so tief als die Männerstimme. Die Weiberstimmen, Stimmen der Knaben und Castraten beginnen zwischen *f* (Alt) und $\overline{c}$ (Sopran), und reichen bis $\overline{\overline{f}}$ (Alt), oder $\overline{\overline{a}}$ (Mezzo Soprano), oder $\overline{\overline{\overline{c}}}$ (Sopran), im höchsten Fall bis $\overline{\overline{\overline{f}}}$. Der tiefste Ton der weiblichen Stimme liegt also ohngefähr um eine Octave höher als der tiefste Ton der männlichen Stimme; der höchste Ton der weiblichen Stimme ohngefähr eine Octave höher als der höchste Ton der männlichen Stimme. Die vier ersten Töne sind bei allen Stimmen in der Regel nicht kräftig. Der Umfang der männlichen und weiblichen Stimmen zusammen genommen, oder die ganze Tonleiter der menschlichen Stimme beträgt vier Octaven, vom grossen *E* des *C* der achtfüssigen offenen bis $\overline{\overline{\overline{e}}}$ des $\overline{\overline{\overline{c}}}$ der ½füssigen offenen Orgelpfeife.

Zur bequemern Vergleichung folgt hier eine Uebersicht der ganzen Tonleiter der menschlichen Stimme mit der Bezeichnung des mittlern Umfangs der verschiedenen Stimmen:

Sopran: von $\overline{c}$ bis $\overline{\overline{\overline{c}}}$; Alt: von *f* bis $\overline{\overline{f}}$

E F G A H c d e f g a h $\overline{c}$ $\overline{d}$ $\overline{e}$ $\overline{f}$ $\overline{g}$ $\overline{a}$ $\overline{h}$ $\overline{\overline{c}}$ $\overline{\overline{d}}$ $\overline{\overline{e}}$ $\overline{\overline{f}}$ $\overline{\overline{g}}$ $\overline{\overline{a}}$ $\overline{\overline{h}}$ $\overline{\overline{\overline{c}}}$.

Bass: von *E* bis $\overline{f}$; Tenor: von *c* bis $\overline{\overline{c}}$

Fischer, der Vater der später berühmt gewordenen Sänger, erreichte in der Tiefe *F*, die jüngste unter den Schwestern Sessi umfasste drei Octaven und drei Töne von *c* bis $\overline{\overline{\overline{f}}}$ (Muncke in Gehler's *physik. Wörterb. VIII.* 386.). Die Zelter umfasste drei, die Catalani 3½ Octaven (Rudolphi, *Physiologie*).

Bei den tieferen Tönen steigt der Kehlkopf herab und das Ansatzrohr des Stimmorganes wird dadurch länger und zur Erzeugung tiefer Töne geschickter. Bei den höheren Tönen steigt der Kehlkopf hinauf und der Kehlraum wird kleiner; je höher man singt, um so enger rücken die Gaumenbogen zusammen und um so kürzer wird das Zäpfchen. Diess ist nicht der Fistelstimme eigen, sondern geschieht schon bei den höheren Brusttönen.

2. *Stimmarten der verschiedenen Menschen.* Der Hauptunterschied der weiblichen und männlichen Stimmen ist im Allgemei-

nen der der Höhe; aber sie unterscheiden sich auch im Klang, die männliche Stimme klingt härter. Nun giebt es aber noch besondere Unterschiede des Klanges, und zwar zwei Unterschiede des Klanges der männlichen und zwei Unterschiede des Klanges der weiblichen Stimme. Die Klangarten der männlichen Stimme sind der Bass und Tenor, die Klangarten der weiblichen Stimme und Knabenstimme der Alt und Sopran. Der Bassist singt zwar gemeiniglich tiefer als der Tenorist und hat seine Stärke in den tiefen Tönen, und dieser singt mit Brustton höher als der Bassist. Der Altist singt in der Regel tiefer als der Sopranist, und hat seine Stärke in den tiefen Tönen der weiblichen Stimme, und dieser singt höher; aber dieser Unterschied ist nicht der wesentliche. Denn auch Bassisten können mitunter sehr hoch singen und Altisten ebenso, so wie Sopranisten oft hoch gehen. Der wesentlichste Unterschied des Basses und Tenors liegt vielmehr in dem jeder dieser Stimmen eigenen Klang, Timbre, welcher beim Bassisten und Tenoristen verschieden ist, wenn sie auch denselben Ton singen, und ebenso ist es mit dem Verhältniss zwischen Alt und Sopran. Baryton bezeichnet hingegen mehr das Unentschiedene zwischen beiden Klangarten der Männerstimmen, Mezzo Soprano das Unentschiedene zwischen beiden Klangarten der Weiberstimmen. Sie haben auch mittlere Höhen in der Tonleiter der Männer- und Weiberstimme. Der Unterschied zwischen der Weiberstimme und Männerstimme beruht in der Hauptsache, was nämlich die Höhe der Töne betrifft, auf der verschiedenen Länge der Stimmbänder bei Männern und Frauen, die sich wie 3 zu 2 verhalten. Siehe oben p. 200. Der Unterschied beider Stimmen im Klang beruht auf der Beschaffenheit und Form der resonirenden Wände, welche beim männlichen Kehlkopf viel grösser sind und vorn im Schildknorpel einen starken Winkel bilden. Der verschiedene Klang des Tenors und Basses, und des Altes und Soprans hängt wahrscheinlich von noch nicht gekannten Eigenthümlichkeiten der Bänder und der membranösen und knorpeligen resonirenden Wände ab, die durch die Untersuchung der Kehlköpfe von entschiedenen Tenoristen, Bassisten, Sopranisten und Altisten aufgeklärt werden müssen. Man muss sich diesen Unterschied so vorstellen, wie bei musikalischen Instrumenten von verschiedenem Stoff, Metall- und Darmsaiten, metallischen, hölzernen und membranösen Zungen, bei Instrumenten mit tönender Luftsäule, mit metallenen, hölzernen, papiernen resonirenden Wänden. Diese Instrumente können auf denselben Ton gestimmt seyn und jedes giebt ihn mit eigenthümlichem Timbre. Der Kehlkopf der Knaben gleicht mehr dem der Weiber, seine Stimmbänder haben vor der Pubertätsentwickelung noch nicht $\frac{2}{3}$ der Länge, die sie durch diese erhalten. Der Winkel des Schildknorpels ist noch so wenig vorragend, wie beim Weibe. Die Stimme des Knaben ist Alt oder Sopran, nach der Formveränderung des Kehlkopfs in der Pubertätsentwickelung (im 14. — 15. Jahr) geht sie sogleich in Bass oder Tenor über. So lange diese Metamorphose dauert, ist die Stimme unrein, oft heiser und krähend, und zum Gesang unfähig, bis die neu entstandenen Stimm-

arten geläufig und eingeübt sind. Bei den Castraten, die vor der Pubertätsentwickelung der Hoden beraubt worden, bleibt die Umwandlung der Stimme aus und sie behalten die weiblichen Stimmen. Von der Existenz des Keim bereitenden Geschlechtstheils und von der Bildung des Samens hängt diese, wie die ganze übrige männliche Entwickelung ab. Die Alt- und Sopranstimmen der Knaben und Castraten gleichen in Hinsicht der Höhe denen der Weiber, unterscheiden sich aber einigermassen im Klang und sind gellender. Liscovius bemerkt, dass die Castratenstimme auch noch von der Knabenstimme verschieden klinge, und leitet es davon ab, dass die resonirenden Wände der Mund- und Nasenhöhle so geräumig wie beim Mann werden, während doch das Stimmorgan auf dem Knabenzustande verharrt. Sie sind indess beim Weibe auch geräumig, und die veränderte Festigkeit der Knorpel und Bänder mag wohl noch von grösserm Einfluss seyn.

3. *Stimmarten eines und desselben Menschen. Brust- und Falsetstimme.* Die meisten Menschen, besonders die Männer, sind ausserdem, dass ihre Stimme mehr oder weniger zu einer der erwähnten Stimmarten gehört, wenn sie nicht zum Gesang ganz untauglich ist, auch noch fähig, den Klang ihrer Stimme nach einem doppelten Register von Tönen zu modificiren. Es ist das Register der Bruststimme und Falsetstimme. Die Bruststimme ist voller und erregt ein deutliches Gefühl viel stärkerer Schwingung und Resonanz, als die Falsetstimme, Fistelstimme, Kopfstimme, welche mehr summend ist. Die tieferen Töne der männlichen Stimme sind nur mit der Bruststimme möglich, die höchsten nur mit der Fistelstimme, die mittleren kann man sowohl mit der Brust- als Falsetstimme angeben; beide Register grenzen daher nicht aneinander, so dass das eine anfinge, wo das andere aufhörte, sondern laufen zum Theil nebeneinander her. Der Tenorist fängt in der Regel schon am $\bar{a}$ an in die Fistelstimme überzugehen, während darunter liegende Töne mit beiden Stimmen angegeben werden können; der Bassist schon früher. Bei den Frauen giebt es selten einen hinreichend deutlichen Unterschied zwischen Bruststimme und Falsetstimme.

Die Brusttöne werden, wie Lehfeldt zuerst entdeckte, mit stärkerm Anspruch gegeben bei ganz schwingenden abgespannten Stimmbändern, die Fisteltöne mit schwachem Anspruch bei bloss schwingenden Rändern der mehr gespannten Stimmbänder. Bei mässiger bestimmter Abspannung sind beide Töne am ausgeschnittenen Kehlkopf möglich, der Brustton ist immer um mehrere Töne tiefer, als der Falsetton bei gleichbleibender Spannung der Stimmbänder, und ist um so tiefer als der Falsetton, je schwächer der Anspruch zum Brustton ist, oder je stärker der Anspruch zum Falsetton ist, dieser Unterschied kann eine ganze Octave betragen. Die Brusttöne wachsen an Tiefe durch stärkere Abspannung der Stimmbänder, an Höhe durch das Gegentheil, und bei gleicher Abspannung der Stimmbänder an Höhe theils durch stärkern Anspruch, theils durch Zusammendrücken des untern Zuganges der Stimmritze. Siehe oben p. 197. Die Falsettöne wachsen an Höhe durch stärkern Anspruch, theils

durch stärkere Spannung der Stimmbänder. Bei einiger Spannung der letztern sind keine Brusttöne mehr möglich. Da der Brustton am ausgeschnittenen Kehlkopf bei bestimmter Abspannung der Stimmbänder, unter möglichst gleicher Stärke des Blasens schon viel tiefer als der Falsetton, und ihm nur durch Zusammendrücken des Aditus glottidis inferior oder stärkeres Blasen sich nähert, so erklärt sich daraus, warum es an der Grenze der Brusttöne beim Vertausch des Brustregisters mit dem Falsetregister oft schwer ist, den richtigen Falsetton zu treffen.

Da die Brust- und Falsettöne am ausgeschnittenen Kehlkopf, ohne Gaumenbogen, ohne Morgagni'sche Ventrikel, ohne obere Stimmbänder möglich sind, so sind alle diese Theile bei der Erklärung beider Stimmarten auszuschliessen. Die Gaumenbogen nähern sich zwar immer mehr, je höher man in der Fistelstimme singt, aber sie nähern sich schon sehr bedeutend bei den höheren Brusttönen, und die Annäherung ist eben so gross als beim entsprechenden Fistelton. Man kann es am besten mit dem Finger fühlen. Nur die Töne beim Räuspern und Schnarchen sind wahre Töne der Gaumenbogen und des Gaumensegels. Wären die Gaumenbogen die Ursache der Fisteltöne, so würde ihre Berührung mit dem Finger den Ton aufheben, was nicht geschieht. Die Annäherung der Gaumenbogen und das Zurückziehen des Zäpfchens bei den höheren Tönen scheint eine blosse Mitbewegung zu seyn, veranlasst durch die Anstrengungen der Muskeln des Kehlkopfs, wie oft ein Muskel unwillkührlich mitbewegt wird, wenn sich ein anderer willkührlich bewegt. Siehe oben p. 85. Sollten die Gaumenbogen bei den höheren Brusttönen und bei den Fisteltönen irgend eine Bedeutung haben, so könnte es nur etwa die seyn, durch ihre Anspannung die Resonanz zu verstärken. Man kann die Falsettöne in sofern als Flageolettöne der Brusttöne betrachten, als zwar nicht aliquote Theile der Länge der Stimmbänder, aber aliquote Theile der Breite der Stimmbänder dabei schwingen, während die anderen bloss von der Luft ausgedehnt werden. Bei den Brusttönen schwingen die Stimmbänder nicht länger, aber in ganzer Breite unter Mitschwingung der Membran des Aditus glottidis inferior.

4. *Besondere Klangarten der Stimme. Nasenstimme.* Hieher ist der jedem Menschen eigene besondere Klang der Stimme zu rechnen. Er hängt offenbar von der Form der Luftwege und den Membranen und ihrer Resonanz ab, da dieser besondere Klang sich nachahmen lässt. Manche Menschen können die Stimmen der verschiedensten Individuen nachahmen. Hieher ist auch das Näseln der Stimme zu rechnen. Biot erklärt es so. Bei der gewöhnlichen Erzeugung der Stimme lege sich das Gaumensegel an die hintere Oeffnung der Nasenhöhlen an und verschliesse sie, so dass die Luft nur zum Munde heraustreten kann. Wenn die Luft dagegen zu Mund und Nase zugleich heraustrete, so entstehe das durch die Nase sprechen. Ich kann diese Erklärung des berühmten Physikers nicht theilen. Denn gerade bei der gewöhnlichen Erzeugung der Stimme sind die hinteren Nasenhöhlen offen und die Stimme ertönt durch das Mundrohr und Nasenrohr zu-

gleich. Wenn man mit dem Nasenton die Stimme geben will, so kann es auf zweierlei Weise geschehen. Wenn man die äusseren Nasenlöcher schliesst, so kann man sowohl die gewöhnliche Stimme als die Nasenstimme geben, ersteres, wenn die Gaumenbogen offen sind, letzteres, wenn sie sich schon einander nähern; in diesem Fall steigt der Kehlkopf zugleich viel höher hinauf, als er bei demselben Ton bei gewöhnlicher Stimme steht. Verstopfung der Nase durch Schleim wirkt so, wie das Zuhalten der Nasenlöcher, aber diese Verstopfung und das Zuhalten allein sind nicht im Stande den Nasenton allein hervorzubringen. Bei dieser Nasenstimme wird die Nasenhöhle zu einer abgesonderten resonirenden Kammer. 2. Man kann auch bei offener äusserer Nase und bei offenem oder geschlossenem Munde die Nasenresonanz der Stimme des Kehlkopfs bewirken. In diesem Fall rückt der Kehlkopf auch bedeutend in die Höhe, die Gaumenbogen verengern sich, der Zungenrücken ist dem Gaumen genähert oder liegt ihm an, die Luft geht allein zwischen den verengerten Gaumenbogen durch und erhält die Resonanz der Nasenhöhle ohne die der Mundhöhle. Die Stimme der Alten verliert an Klang, Sicherheit und Umfang. Der Klang wird verändert durch die Ossification der Kehlkopfknorpel, durch die Veränderungen der Stimmbänder; die Sicherheit durch Abnahme des Imperiums der Nerven über die Muskeln, dessen Folge hier, wie an anderen Orten, eine zitternde Bewegung ist. Durch beides wird die Stimme der Alten klanglos, unsicher, meckernd und schwach.

5. *Stärke der Stimme.* Die Stärke der Stimme hängt theils von der schwingungsfähigen Beschaffenheit der Stimmbänder, theils von der Fähigkeit zur Resonanz der Membranen und Knorpel des Kehlkopfs, der Brustwände, Lungen, der Mund- und Nasenhöhle und der Nebenhöhlen der Nase ab. Die erstere wird vermindert oder aufgehoben durch Entzündung der Kehlkopfsschleimhaut und Eiterung, durch profuse Schleimabsonderung, durch Oedema glottidis u. a. Die Resonanz der Lungenmembran wird vermindert und daher die Stimme schwächer bei der Consumtion der Lungen; von der grössern Capacität der Brust des Mannes ist auch zum Theil die grössere Stärke seiner Stimme abzuleiten. Bei mehreren Gattungen der Affen giebt es noch accessorische resonirende Membranen, Kehlsäcke, oder gar weitere höhlenartige Auftreibungen des Schildknorpels und Zungenbeins, wie bei den Heulaffen Mycetes.

6. *Wachsen und Abnehmen der Töne an Stärke.* Aus den Beobachtungen von Liscovius, Lehfeldt und meinen eigenen ergiebt sich, dass die Töne des Kehlkopfs ceteris paribus bei stärkerm Blasen an Höhe zunehmen. Die Brusttöne steigern sich und die Falsettöne ebenfalls. Ich stellte diese Versuche bei bestimmter, durch Gewichte gemessener Spannung an, und fand, dass die Erhebung des Tons durch alle Nüancen zwischen den halben Tönen geschehen kann, so dass die Erscheinung nicht auf Entstehung von Schwingungsknoten beruht, die man auch sehen müsste, da die Schwingungen der Bänder so deutlich sind. Die mögliche Erhöhung beträgt nach den Versuchen über eine Quinte.

Siehe oben p. 201. Hieraus geht hervor, dass sich ein Ton des Stimmorgans durch blosses stärkeres Blasen nicht verstärken lässt, und dass, wenn ein Ton seinen musikalischen Werth behalten soll, die Stärke des Blasens ganz gleichförmig seyn muss. Diese Eigenschaft hat das Stimmorgan mit mehreren musikalischen Instrumenten gemein. Die Töne der Labialpfeifen sind ohne bestimmte Grenzen, bei stärkerm Blasen erhebt sich der Ton in der gedeckten Pfeife in den Zahlen 1, 3, 5 u. s. w., in der offenen in den Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, u. s. w. In kleinen Pfeifen von 2 Zoll Länge und weniger geht die Erhöhung sogar, wie ich zeigte, successiv durch das Intervall von 1 und 2 durch, und die Erhöhung ist bei successiver Verstärkung des Blasens heulend. Siehe oben p. 178. Die Zungentöne lassen sich durch Verstärkung des Blasens um mehrere Töne successive heben. Diese Erhöhung ist bei starken metallischen Zungen nur unmerklich und wurde von mir nur bei sehr starkem Blasen und dünnen Zungen beobachtet. Bläst man schwach starke metallischen Zungen an, so ist der Ton auch ein wenig höher als bei starkem Blasen, wie der einer schwach angeschlagenen Saite, wie W. Weber zeigte. Diess rührt wahrscheinlich davon her, dass beim schwachen Blasen das Ende der Zunge, nahe der Befestigung, nicht schwingt, beim starkem Blasen aber schwingt; diese Erhöhung muss wohl von der von mir, namentlich an den membranösen Zungen und an der Kinderschalmey beobachteten unterschieden werden. Durch die Ungleichförmigkeit der Töne bei verschiedener Stärke des Blasens sind die Labialpfeifen unvollkommene Instrumente, indem auf ihnen kein Forte und Piano, kein Schwellen und Schwächen der Töne möglich ist das umfangreichste Instrument, die Orgel, ist in dieser Hinsicht sehr unvollkommen. Die Zungenpfeifen leiden an diesem Fehler wenig, der Ton der Zungenpfeifen mit starker metallener Zunge lässt sich schwellen, ohne dass die kleine Erhöhung bei schwachem Blasen für ein nicht feines Ohr merkbar ist. Indess wird sie doch störend. W. Weber hat die Entdeckung gemacht, wie diesem Fehler abzuhelfen ist, wenn die Zunge im Verhältniss mit einer zu ihrem Grundton richtig mensurirten Länge der Ansatzröhre steht; die Luftsäule der Zungenpfeifen erhöht ihren Ton bei stärkerm Blasen, die starke metallene Zunge vertieft ihn. Beide entgegengesetzte Wirkungen vereint compensiren sich, und liefern in der von W. Weber construirten Zungenpfeife ein Blasinstrument, auf dem man denselben Ton beliebig schwellen und schwächen kann, ohne dass er seinen musikalischen Werth verändert. Ein System solcher Pfeifen liefert eines der vollkommensten musikalischen Werkzeuge. Auf die Zungenpfeifen mit membranöser Zunge ist diess Princip nicht anwendbar, da ihre Töne wie die der Kinderschalmey mit sehr dünner Metallzunge bei stärkerm Blasen sich erhöhen. Daher darf man eine ähnliche Einrichtung an dem menschlichen Stimmorgan nicht erwarten. Die Compensation durch die Länge des Ansatzrohrs würde ohnehin für verschiedene Töne eine sehr verschiedene Länge des Ansatzrohrs erfordern; diess Rohr kann sich am menschlichen Stimm-

organ nur wenig, höchstens durch Sinken und Erheben des Kehlkopfs um einen Zoll verändern. Da die menschliche Stimme das Vermögen der Anschwellung und Schwächung eines und desselben Tones vom leisen Piano bis zum Fortissimo hat, so muss die Compensation auf eine andere Art erreicht seyn. Diese Compensation wird offenbar durch die Veränderung der Spannung der Stimmbänder bewirkt. Das stärkere Blasen erhöht den Ton, indem es ihn stärker macht, bis zu einer Quinte, durch Abnahme der Spannung lässt sich dagegen der Ton successive durch alle Nüancen bis zu zwei Octaven an guten Kehlköpfen erniedrigen. Wird ein Ton vom Piano aus verstärkt, so muss also in dem Maass die Spannung der Stimmbänder durch Nachlass der Muskelwirkung abnehmen, als das Blasen stärker wird. Beim Schwächen des Tons geschieht das Entgegengesetzte. Die Analogie der Zungenpfeifen mit membranösen Zungen und die über die Brusttöne angestellten Versuche p. 197. zeigen auch, dass die Verengung des untern Zugangs zur Stimmritze durch den Musc. thyreo-arytenoideus, zur Compensation beim Uebergang zum Piano beitragen kann, ich zweifle, dass die Verlängerung der Ansatzröhre durch Herabsteigen des Kehlkopfes beim Uebergang zum Forte zur Compensation mitwirken könne. Wird zwar der Ton durch schwaches Blasen für das Piano tiefer, so wird er durch Verengung des untern Zugangs zur Stimmritze höher, und wird er durch stärkeres Blasen für das Forte höher, so wird er durch Erweiterung des Zuganges wohl tiefer. Die Verkürzung des Ansatzrohrs durch Aufsteigen des Kehlkopfes kann schwerlich zur Compensation beim Uebergang zum Piano dienen.

Eine solche Art der Compensation erfordert ein genaues Abwiegen der gegenseitigen Wirkungen, und es erklärt sich daraus hinreichend, warum das Schwellen und Schwächen der Töne, ohne ihren musikalischen Werth zu ändern, selbst für geübte Sänger so schwer, und für ungeübte ohne Detonation auf die eine odere andere Art ganz unmöglich ist.

7. *Reinheit der Töne.* Das Detoniren der Stimme nach langen Singen erklärt sich zum Theil leicht aus den kleinen Veränderungen der Stimmbänder in Folge der wiederholten Spannungen und noch mehr aus der Ermüdung der Muskeln, welche dem Willen zuletzt nicht mehr vollständig gehorchen und unangemessene Bewegungen ausführen. Sonst hängt das Detoniren theils von schlechtem Gehör, theils von der Schwierigkeit ab, die gleichschwebende Temperatur unserer musikalischen Tonleiter zu beobachten. An musikalischen Instrumenten ist die Temperatur meist durch die Stimmung gesichert, der Sänger muss sie beständig erzielen.

Der Mensch wie die Singvögel lernen bei dem Aufwachsen unbewusst die für jeden Ton nöthigen inneren Veränderungen des Stimmorgans, die nöthigen Muskelwirkungen kennen. Zufällig hervorgestossene Töne und ihre dabei stattgefundenen Muskelwirkungen associiren sich und sind später bereit, sich wechselseitig hervorzurufen, wenn eine Melodie nachgeahmt werden muss. Beim methodischen Lernen des Ge-

sanges kömmt zu den Associationen der gehörten Töne und der dazu nöthigen Muskelbewegungen noch die ihrer Zeichen mit beiden ersten hinzu. Zu allem diesem und um jedem Ton einen reinen Werth zu geben, ist ein gutes Gehör nöthig, ohne welches es zwar eine schöne und umfangreiche Stimme, aber keine gute Anwendung davon oder Gesang geben kann.

Wir nehmen von der Stimme des Menschen Abschied mit einer Bemerkung über die kunstvolle Einrichtung ihres Werkzeuges. Kein musikalisches Werkzeug ist ihm ganz zu vergleichen; denn auch die umfangreichsten Orgeln und Claviere sind in anderer Hinsicht unvollkommen. Einige dieser Werkzeuge sind des Steigens vom Piano zum Forte nicht fähig, wie die Labialpfeifen, die Töne anderer lassen sich nicht anhalten, wie aller, die durch Anschlagen gespielt werden. Die Orgel besitzt zwei Register, der Labial- und Zungenpfeifen, und gleicht darin der menschlichen Stimme mit ihren Registern der Brust- und Falsetstimme, aber keines dieser Instrumente vereinigt alle Vortheile wie das menschliche Stimmorgan. Gehört zwar das Stimmorgan zu den Zungenwerken, und sind diese, wenn sie zu einem System von compensirten Pfeifen vereinigt sind (nebst der Geige), die vollkommensten von allen übrigen, so hat doch wieder das Zungenwerk des menschlichen Stimmorgans die Vollendung, dass sich auf einer Zungenpfeife der Umfang der ganzen Tonleiter und alle beliebigen Variationen angeben lassen, während an dem vollkommensten künstlichen Zungenwerk jeder Ton seine besondere Pfeife haben muss. Eine künstliche Nachbildung dieses Organs würde zwar einigermassen erzielt werden können durch Einrichtung einer Zungenpfeife mit einem nicht zu schwer zu handhabenden Apparat zur beliebigen Spannung von elastischen Zungenbändern, aber die Töne eines solchen Werkes, zu dem für die Dauer nur trockne elastische Bänder benutzt werden könnten, würde nicht die weichen klangvollen Töne des nassen, thierischen, elastischen Gewebes nachbilden können, und immer an einer grossen Schwierigkeit der Handhabung leiden.

II. Von den Mundtönen des Menschen.

Auch im Munde allein kann eine grosse Anzahl von Tönen angegeben werden. Von den im Munde möglichen Geräuscharten sehen wir hier ab, davon wird bei der Sprache gehandelt; es handelt sich hier um blosse Töne. Sowohl im vordern als hintern Theile der Mundhöhle sind Töne nach Art der Zungenpfeifentöne möglich, aber ausserdem lässt sich auch im Munde ein Register von Tönen bilden, wobei die Luft den Ton angiebt.

1. *Mundtöne durch schwingende Membranen.* Hieher gehören die schnarrenden Töne am Gaumensegel und an den Lippen.

a. Am Gaumensegel. Die wahren Gaumensegeltöne sind die beim Schnarchen und Räuspern entstehenden Laute, in beiden Fällen werden die Gaumenbogen als membranöse Zungenblätter durch den Luftstrom in Bewegung gesetzt. Die Töne erfolgen um so leichter, je mehr diese Bogen zusammengezogen sind, und sind sowohl bei offenem Mund und verschlossener Nase, als umgekehrt

möglich. Auch die Zunge lässt sich, wie bei der Bildung des *R* an den Gaumen gelegt, auf diese Art in Vibration setzen, aber es kommt nicht zur Bildung eines Tons, sondern nur des Geräusches, weil die Schwingungen zu langsam erfolgen.

b. An den Lippen. Beim Durchpressen der Luft zwischen den Lippen entstehen durch die deutlich schwingenden ganzen Lippen oder ihren schwingenden Rand Töne, deren Höhe mit der Tension der Lippen zunimmt. Setze ich ein Ansatzrohr vor den Mund und verlängere es, so wird der Lippenton auf ähnliche Art wie bei den Kautschuckzungen in der Höhe verändert. Von derselben Art sind die Töne, die durch Blasen zwischen 2 aneinander gelegten Fingern erregt werden.

2. *Mundtöne durch Tönen der Luft.*

Hieher gehört das Mundpfeifen oder Pfeifen auf den Lippen. Siehe Muncke in Gehler's *physikal. Wörterb. VIII p.* 383. Cagniard la Tour in Magendie *J. de physiol. X.* Man hat das Mundpfeifen aus der Schwingung der Lippen abgeleitet, man kann sich aber leicht überzeugen, dass sie sich dabei ganz ruhig verhalten, man kann sie berühren, bedecken, ja sogar wie Cagniard la Tour gezeigt, eine Korkscheibe, die in der Mitte durchlöchert ist, zwischen die Lippen nehmen und noch dieselben Töne hervorbringen. Ich erhalte noch einen tiefen Ton, wenn ich zwischen die Lippen eine Scheibe von Elfenbein nehme, die in der Mitte eine runde Oeffnung von 4 Linien Durchmesser hat, beim Einziehen der Luft. Mir scheint die Theorie von Cagniard la Tour vollkommen richtig. Das Tönende ist die Luft, welche sich an den Wänden des Durchganges reibt. Beim Reiben der Körper entstehen Töne, wenn die Reibung intermittirend wird. Hieher gehören die Töne die man erhält, wenn man mit dem Finger eine glatte Fläche, z. B. den Rand eines Glases reibt, wenn man einen mit Tuch überzogenen Stab in einem gläsernen Cylinder dreht u. s. w. Die Luft bringt durch Reibung einen Ton hervor, wenn sie durch eine enge Spalte eines harten Körpers durchgeht, wo die Ränder des harten Körpers nicht als Lippen eines Zungenwerks betrachtet werden können. Auf welche Weise hier die Intermission der Reibung geschieht, ist noch nicht hinreichend erklärt, aber das Factum ist unzweifelhaft. Beim Reiben des Glases entsteht der Ton offenbar wie beim Streichen mit dem Fidelbogen durch periodische Unterbrechungen der Reibung vermöge Adhäsion des Fingers, ebenso wie durch einen auf den Tisch aufgestellten und vorwärts bewegten Finger die Bewegung periodisch unterbrochen wird. Dass aber die Bewegung der Luft beim Vorbeiströmen an den Rändern einer Spalte durch Reibung periodisch aufgehalten werde, lässt sich mehr vermuthen als beweisen. Dass die Luft am Wasser adhäriren könne, ist offenbar aus den gekräuselten Wellen, welche der Wind auf der Oberfläche des Wassers erregt. Weber *Wellenlehre p.* 33.

Cagniard la Tour scheint mir die Mundhöhle nicht genug bei Erklärung des Mundpfeifens zu beachten. Er sucht die Analogie mit einer Labialpfeife zu widerlegen, mir scheint jedoch diese Analogie sehr gross. Savart hat gezeigt, dass sich auf dem

Mundstück einer Labialpfeife noch Töne hervorbringen lassen, so dass genau genommen auch an den Labialpfeifen der Ton am Mundstück oder Labium der Pfeife erregt und die Luft zur Schwingung gebracht, durch die Luftsäule der Pfeife aber die Schwingung verändert wird. Beim Mundpfeifen scheint es ganz ähnlich, die Ursache der Schwingung liegt in der Embouchure der Lippen oder der Korkscheiben, und ist eine intermittirende Reibung, aber diese Schwingung setzt die Luftsäule der Mundhöhle in Schwingung und wird von der Zahl ihrer Schwingungen selbst wieder bestimmt. Der Anspruch unterscheidet sich von dem einer Labialpfeife auch darin, dass hier die Luft durch das Rohr und durch die Embouchure zugleich in fortschreitender strömender Bewegung begriffen ist, während die Luft bei einer Labialpfeife ausser den stehenden Schwingungen nicht strömt.

Mit dieser Erklärung stimmen die Thatsachen der Erfahrung über die Veränderung der Töne des Mundpfeifens vollkommen überein. Die Töne des Mundpfeifens werden nämlich verändert:

1. *Durch stärkeres Blasen bei gleicher Oeffnung und Lage der Zunge.* Diess verhält sich gerade so wie bei kleinen Labialpfeifen von 2 Zoll und weniger Länge, deren Ton, wie ich p. 178. zeigte, sich ohne Beobachtung der Intervalle sehr bedeutend in die Höhe treiben lässt.

2. *Durch Veränderung der Oeffnung des Anspruchs oder der Lippenöffnung.* Diese Veränderung gleicht derjenigen, welche sich durch grössere oder kleinere Oeffnung der Embouchure der Labialpfeifen erzielen lässt. Siehe oben p. 139.

3. *Durch Veränderung des Rohrs oder der Mundhöhle.* Die Töne des Mundpfeifens werden tiefer beim Zurückziehen der Zungenspitze, höher beim Vorschieben der Zungenspitze. Diese Veränderung gleicht derjenigen, welche sich durch Veränderung der Länge und Weite des Rohrs der Labialpfeifen bewirken lässt. Auch laufen diese Veränderungen mit denen bei ber Maultrommel parallel. Beim Mundpfeifen entstehen die Schwingungen durch Reibung der Luft beim Durchgang durch die Lippenöffnung, bei der Maultrommel durch Anschlagen des Blättchens oder Züngelchens der Maultrommel, oder durch Einziehen der Luft; sowohl beim Mundpfeifen als bei der Maultrommel ist der gebildete Ton je nach der Gestalt der Mundhöhle und Lage der Zunge ceteris paribus verschieden.

III. Von der Stimme der Säugethiere und Amphibien.

A. Säugethiere.

Die Ursachen der Stimme bei den Säugethieren sind im Wesentlichen ganz dieselben wie bei dem Menschen. Alles vorher Erwähnte ist darauf anwendbar. Der Ton wird von den untern Stimmbändern angegeben. Kennt man einmal die Ursache der tiefen und starken Töne durch die erschlafften unteren Stimmbänder des Menschen, so wird man es nicht auffallend finden, dass diese Bänder die tiefen Töne des Rindes u. a. angeben; man sieht in der That die Schwingungen dieser Bänder beim Versuch mit dem Kehlkopf des Rindes, und der Ton ist tief und stark

bei Erschlaffung der Bänder. Die oberen Stimmbänder mit den MORGAGNI'schen Ventrikeln fehlen den Wiederkäuern, und man sieht hier abermals, dass sie zur Erzeugung der tiefen Töne nicht nöthig sind. Vergl. LEHFELDT's Versuche am Kehlkopfe verschiedener Säugethiere a. a. O. Die Einhufer haben ein oberes Stimmband, beim Pferde bildet die Schleimhaut unter dem Kehldeckel auch eine halbmondförmige Falte, die von einem zum andern Stimmbande geht; beim Esel und Maulthier fehlt diese Falte. Siehe CUVIER a. a. O. GURLT, *vergl. Anatomie der Haussäugethiere II. p.* 167. Unter der halbmondförmigen Falte hat das Pferd eine trichterförmige Höhle, unter dem Kehldeckel über der Falte ist eine zweite Höhle, welche beim Esel und Maulthier geräumiger ist, wie denn auch die Ventriculi Morgagni grösser sind, welche hier enge und dem Kehldeckel näher liegende Oeffnungen haben. GURLT a. a. O. p. 167. Das Schwein hat unter dem Kehldeckel auch einen geräumigen häutigen Sack. Die Anatomie des Kehlkopfs andrer Ordnungen der Säugethiere ist von BRANDT (*Diss. de mammalium quorundam praesertim quadrumanorum vocis instrumento. Berol.* 1826. 4.) so vollständig erörtert, dass wir hier darauf verweisen können. Bei den Affen ändert sich der Hapttheil des Stimmorgans nicht, aber die resonirenden Theile sind oft sehr eigenthümlich. Dahin gehört der Kehlsack des Orang-Utangs zwischen Schildknorpel und Zungenbein; bei dem Mandrill (Simia mormon) dem Pavian, den Makaken fand CUVIER auch einen häutigen Sack unter dem Zungenbein. Am grössten ist aber der resonirende Apparat der Heulaffen der neuen Welt, Mycetes, durch die Auftreibung ihres Zungenbeins und Schildknorpels durch die von den Ventrikeln ausgehenden Seitensäcke des Kehlkopfs, und durch die von BRANDT beschriebenen Sacci laryngo-pharyngei. Der Kehldeckel erhält bei diesen Affen eine sehr eigenthümliche Gestalt und bedeutende Grösse. Bei den Sapajous wird durch die Verstärkung der keilförmigen Knorpel (C. Wrisbergii) durch ihre Form und die des Kehldeckels, wie CUVIER zeigte, eine *S*förmig gekrümmte Röhre gebildet. Die Stimme dieser Thiere ist pfeifend. Ueber die bei den Säugethieren oft sehr grossen Cartilagines cuneiformes und eigenthümliche Knorpel am Kehlkopf der Säugethiere hat BRANDT Aufschluss gegeben.

B. Amphibien.

Die Stimme der Amphibien entsteht im Kehlkopf wie bei den Säugethieren. Sowohl die Frösche als Crocodile haben Stimmbänder. Ueber den Kehlkopf des Crocodils siehe A. v. HUMBOLDT in Beobachtungen aus der Zoologie u. vergl. Anatomie in MAYER's *Analecten.* Da Bänder im erschlafften und bloss von der Luft ausgedehnten Zustande tiefe Töne angeben, so darf man sich nicht wundern, dass das kleine Simmorgan des Frosches so tiefe Töne giebt. Beim männlichen Frosch treten beim Tongeben zugleich häutige Säcke am Halse nach aussen, welche zur Verstärkung des Tones dienen. Das Stimmorgan der männlichen Rana pipa (Pipa americana) zeigt uns eine eigenthümliche Abweichung, indem die Töne

hier von festen schwingenden Körpern angegeben werden. Die Luftröhre fehlt wie bei den Fröschen überhaupt. Die Bronchien gehen sogleich aus dem Kehlkopf hervor. Dieser bildet eine von Rudolphi beschriebene, grosse, knorpelige Lade, welche von vorn die Luft durch die Stimmritze erhält. Im Innern dieser Lade befinden sich zwei knorpelige Stäbe fast so lang als die Lade ist; sie sind von Mayer (*Nov. Act. Nat. Cur. XII.* 2. 541.) beschrieben. Es sind keine frei sich bewegende Schwengel, wie bei den Glocken, sondern sie sitzen mit ihrem vordern Ende fest; ihr hinteres freies Ende liegt jederseits neben der Oeffnung des Bronchus. Diese Körper wirken wie stabförmige Zungen oder Stimmgabeln, während die gewöhnlichen Stimmorgane der Thiere membranös sind. Hält man ein dünnes Knorpelstückchen von einigen Linien Länge an einem Ende fest, und bläst den Rand des andern Endes mit einem Röhrchen an, so erhält man einen brummenden Ton, sobald der Anspruch gelingt.

IV. Von der Stimme der Vögel.

1. *Stimmorgan der Vögel.*

Wir folgen bei der anatomischen Darstellung den Untersuchungen von Cuvier und Savart. Neue Zergliederungen können in diesem Theil, besonders nach Savart's Untersuchungen nur auf das Bekannte stossen. Das Stimmorgan der Vögel, der untere Kehlkopf an der Theilungsstelle der Luftröhre wird in den meisten Fällen schon äusserlich durch die Verschmelzung mehrerer Luftröhrenringe, die sogenannte Trommel angedeutet. Der letze dieser Ringe bildet vorn und hinten einen Vorsprung, dessen Spitze tiefer liegt als der Seitentheil des Ringes, beide Vorsprünge sind bei den meisten Vögeln, die eine Stimme haben, durch einen knöchernen Querbalken verbunden, wodurch das untere Ende der Luftröhre in 2 Theile getheilt wird, an welche sich die Bronchien anschliessen. Sowohl am äussern als innern Umfang der Bronchialöffnungen der Luftröhre können membranöse Falten liegen. Bei manchen Vögeln wie den Gänsen ist das Tongebende eine an der äussern Seite des untern Randes der Trommel ausgespannte Falte. Zwischen dem Ende der Trommel und dem ersten Luftröhrenring ist die Luftröhre nämlich häutig, diese Haut ist so weit sie am untern Rande der Trommel angefügt ist, sehr gespannt, indem sie durch den vordern und hintern Fortsatz am untern Rande der Trommel straff angezogen wird, weiter abwärts ist die Membran zwischen Trommel und erstem Luftröhrenring schlaff, der gespannte Theil der Membran am untern Ende und äussern Rande der Trommel ist das Stimmorgan der Gänse; wenn selbst die Bronchien abgerissen werden, bleibt dieser straffe gespannte Theil der Membran am untern Ende der Trommel sitzen, und man erhält immer noch Töne, wenn man in das obere Ende der Luftröhre bläst. Nach innen springt diese Haut nur wenig vor, was Cuvier Falte oder Stimmband nennt. Bei den Gänsen und mehreren andern Vögeln findet sich am innern Rande der Bronchialöffnungen der

Luftröhre kein Stimmband, keine Falte; aber bei den Singvögeln giebt es nach SAVART's Beobachtungen (FRORIEP's *Not.* 331.) zuerst eine Falte am innern Rande der Trommel (membrana semilunaris.) SAVART fand sie sehr ausgebreitet bei der Nachtigall, der Grasmücke, dem Zeisig, Hänfling, Stieglitz, Grünling, Finken, Rothkehlchen, Blaukehlchen, Weidenzeisig, Rohrammer, Hausrothschwanz, Zaunkönig, Lerche, Rauchschwalbe, Canarienvogel; die Membran fehlt bei dem Kernbeisser, Sperling, Goldhähnchen, Meerschwalbe, Uferschwalbe, Graufink, Grünammer, Rohrmeise u. a. Bei den Vögeln, welche sprechen lernen können, Raben, Krähen, Elstern, Hähern, Staaren, Drosseln, Amseln, hat die membrana semilunaris die grössten Dimensionen. Am Eingang der Bronchien giebt es nach SAVART noch 2 Stimmbänder, ein äusseres und inneres. Die 3 ersten Ringe der Bronchien sind eigenthümlich gestaltet. Ihre Formen sind von SAVART sehr genau beschrieben, auch abgebildet. Längs der innern Fläche des dritten Bogens befindet sich bei den Singvögeln eine häutige, aus einer besondern, wie es scheint, elastischen Substanz gebildete Schnur, das äussere Labium der Glottis der Singvögel. Der äussere Umfang der Ringe kann sich erheben, senken, Bogen beschreiben, namentlich der dritte Ring, dessen Enden dabei als fixe Puncte dienen, so dass die genannte Schnur oder Sehne die Achse für die Bewegungen jenes Knorpels bildet. Nach innen wird die Wand an der Glottis oder das innere Labium bei den Singvögeln durch einen kleinen Knorpel, Cartilago arytenoidea, und Wülste aus derselben Substanz wie am äussern Labium gebildet. Diese liegen in einer häutigen Wand (Paukenmembran von CUVIER), welche von den Knorpeln der Bronchien bis zum knöchernen Querstück sich erstreckt. Da diese Membran mit der Membrana semilunaris zusammenhängt, so kann letztere von der Paukenmembran gespannt werden. Die Paukenmembran ist bei vielen Vögeln äusserst klein und die Ringe der Bronchien bald vollständig, wie bei den Enten und Gänsen, bei den Singvögeln erstreckt sie sich nach SAVART bis zum 4. und 5. Knorpel der Bronchien; bei den Vögeln welche sprechen können, ist die Membran am längsten und die innere Wand der Luftröhrenäste am wenigsten von Knorpelringen bedeckt. Durch Muskeln, welche dem untern Kehlkopf eigenthümlich sind, können die ersten Knorpel der Bronchien angezogen werden, die Labien der Stimmritze bald mehr genähert, bald mehr von einander entfernt werden. CUVIER theilt die Vögel, je nach der Zahl dieser Muskeln, in mehrere Classen. Bei der einen giebt es keine besonderen Muskeln des untern Kehlkopfs, und die Luftröhre kann nur durch Niederziehen der Luftröhre (Musculi sternotracheales und ypsilotracheales) bedeutend verkürzt werden. Die Vögel, welche hieher gehören, sind die Enten und Gänse unter den Palmipeden und die Hühnerartigen. Unter den Palmipeden haben die Enten und Taucher (Mergus) Erweiterungen am untern Kehlkopfe, und dieser wird bei den Männchen zu einer grossen unsymmetrischen, theils knöchernen, theils membranösen Trommel ausgedehnt, welche offenbar den eigenthümlichen Klang der Stimme der männlichen Individuen

hervorbringt. Unter den Kehlköpfen mit besonderen Muskeln giebt es wieder mehrere Abtheilungen. Nur ein Muskel zum Anziehen der Knorpelhalbringe gegen die Luftröhre findet sich in den Accipitres, den Wasserhühnern, Wasserrallen, Schnepfen, Strandläufern, Kiebitzen, Möven, Scharben, Eisvögeln, Geismelkern, Reihern, Rohrdommeln, Kukuken. Alle diese Vögel haben wenig Veränderung der Stimme. Drei Muskeln haben die Papageyen. Bei ihnen hat auch der erste Halbring des Bronchus eine solche Gestalt dass er eine an der Trommel vorn und hinten eingelenkte Klappe darstellt, welche stark nach innen vorspringen kann; diese Vögel haben keinen Querbalken am untern Ende der Trommel und nur eine einzige Stimmritze. Zwei Muskeln schliessen, einer öffnet die Stimmritze. Bei den Singvögeln ist der Kehlkopf mit 5 Muskelpaaren versehen.

Die Luftröhre der Vögel bildet mit dem Mund das Ansatzrohr vor dem Kehlkopf, sie kann durch Nähern, und selbst durch Uebereinanderwegschieben der Ringe ausserordentlich verkürzt werden. Die Luftröhren einiger Vögel sind länger als der Hals, durch Biegungen, wie beim Auerhahn, bei Penelope, bei den Reihern, dem Storch, Kranich, besonders bei den Männchen. Beim wilden Schwan liegt die Luftröhre sogar mit einer Windung in der Substanz des Brustbeins. In Hinsicht der besondern Beschreibung der Luftröhre verweise ich auf Cuvier; er theilt die Luftröhren in cylindrische; kegelförmige, mit plötzlichen Anschwellungen versehene, allmählig sich erweiternde und verengende. Kegelförmige Luftröhren mit sehr allmähliger Erweiterung gegen den Mund haben die Reiher und die Scharben. Die Luftröhre ist plötzlich erweitert bei Anas clangula, fusca, auch bei Palamedea bispinosa nach v. Humboldt's Beobachtung. Allmählige Erweiterungen finden sich bei den Mergus und männlichen Enten.

Man ist hier auf die vergleichende Anatomie der Stimmwerkzeuge so kurz und weit eingegangen, als es zum Verständniss des Physiologischen durchaus nöthig ist.

2. *Theorie der Vogelstimme.* Cuvier *vergl. Anat. übers. v.* Meckel. *IV.* 229. Savart. Froriep's *Not.* 331. 332.

a. Theorie von Cuvier. Cuvier zeigte, dass die Stimme der Vögel am untern Kehlkopf entsteht, er hörte, dass eine Amsel, eine Elster, eine Ente nach Durchschneidung der Luftröhre noch zu schreien vermag; er verstopfte die obere Hälfte der Luftröhre, band den Schnabel zu, das Geschrei blieb dasselbe; man schnitt der Ente sogar den Hals ab, sie stiess noch mehrere Töne aus. An diese Versuche, die jedem Beobachter dasselbe Resultat geben, schliessen sich diejenigen am ausgeschnittenen untern Kehlkopf an. Blässt man in die Bronchien einer Ente so entsteht der ganz natürliche Ton der Ente; dasselbe erfolgt, wenn man in die Luftröhre der Ente und Gans bläst, und es können selbst die Bronchien abgeschnitten seyn; wenn nur der am unteren Rande der Trommel sehr gespannte Theil der Bronchialhaut noch da ist, der beim Abreissen der Bronchien noch bleibt, so erhalte ich jedesmal Töne. Nach der Theorie von Cuvier wird der Ton durch die Verlängerung und Erschlaffung der Stimmfalte tiefer,

durch die Verkürzung und Spannung höher. Zu diesen Mitteln gesellen sich noch die Veränderungen der Weite der Oeffnung und die daraus hervorgehende Verschiedenheit der Geschwindigkeit der Luft. Allein so lange das Mundstück allein sich verändert und die Ringe der Luftröhre und ihre obere Oeffnung dieselben bleiben, beschränken sich die Tonveränderungen bloss auf die, welche mit dem Grundton harmonisch sind.

Sey daher der Grundton bei grösster Erschlaffung des Labiums *c*, so könne der Vogel durch die Verkürzung desselben nur die Octave, die Quinte derselben Octave, die nächste Octave, ihre Terz und Quinte, die nächste Octave hervorbringen. Diese Ansicht beruht offenbar auf einem Missverständniss; denn die einseitig gespannten Membranen verändern ihre Töne im umgekehrten Verhältniss der Länge derselben und wie die Quadratwurzeln der spannenden Kräfte, und da die Spannung in jeder Fraction zwischen 1, 4, 16 gedacht werden kann, so müssen auch alle Töne zwischen 1 und 2 und nicht bloss die harmonischen Töne auf diese Art möglich seyn. Hätte Cuvier gar nicht auf die Spannung der Labien, sondern nur auf die Weite des Mundstücks gerechnet, so würde sein Vergleich der Stimmorgane der Vögel mit einer Labialpfeife richtig geblieben seyn; indem er auf die Schwingungen der Stimmbänder rechnete, verwechselte er das Mundstück einer Zungenpfeife mit dem einer Labialpfeife, welche bei stärkerem Blasen die Töne 2, 3, 4, 5, 6 giebt. Die nicht harmonischen Töne lässt Cuvier durch die Verkürzung der Luftröhre hervorbringen. Indem der Vogel die Luftröhre um $\frac{1}{9}$ verkürze, bringe er ceteris paribus den nächsten ganzen Ton über dem Grundton hervor; nun brauche er die Länge der Luftröhre nicht zu verändern, sondern bloss das Mundstück zu verkürzen, um alle harmonischen Töne des zweiten Tons hervorzubringen. Um auf diese Art von *c* bis $\bar{c}$ zu steigen, müsste die Luftröhre sich um die Hälfte verkürzen können, was wohl nicht gut möglich ist, das übrige wird indess durch die verschiedene Weite der Oeffnung des obern Kehlkopfs hervorgebracht, wie die Töne an einer gedeckten Pfeife höher werden, in dem Grade als man die Deckung abnehmen lässt. Auf diese Art liesse sich fast wieder eine Octave am Stimmorgan der Vögel erreichen. Wenn Cuvier das Stimmorgan hienach mit den Trompeten vergleicht, so geräth der grosse Forscher wieder in eine Verwechselung der Labialpfeifen mit den Zungenpfeifen, wohin die Trompeten gehören, weil der Anspruch der Luftsäule durch membranöse Zungen, die Lippen, geschieht. In einer Zungenpfeife ändern sich die Töne aber nicht wie in den Labialpfeifen nach der Länge der Luftsäulen, sondern in ganz andern Verhältnissen.

b. Theorie von Savart. Dieser grosse Physiker vergleicht das Stimmorgan der Vögel, wie das des Menschen, mit einer Labialpfeife, und hält also die Luft für das eigentlich Tönende, so dass das Mundstück am untern Kehlkopf dem Mundstück einer Labialpfeife und nicht einer Zungenpfeife vergleichbar wird. Savart hat indess gezeigt, dass bei dieser Voraussetzung doch die Wände der Luftröhre einen grossen Einfluss auf den Ton der

Luftsäule haben müssen. Er verglich die Töne verschiedener gleich langer und weiter Labialpfeifen aus verschiedenem Material. Alle waren 1 Fuss lang, 9 Linien dick (im Lichten). Der Versuch ergab, dass eine aus 12fach zusammengeleimtem Papier gebildete Pfeife, von $\frac{3}{4}$ Linie Dicke der Wände, eine schon etwas andere Zahl der Schwingungen hat, als eine hölzerne Pfeife, und dass sich der Ton um mehr als eine Octave vertiefen kann, wenn die Steifheit der Wände bedeutend abnimmt, namentlich durch Anfeuchtung. Hier gerathen die Wände der Pfeife in Schwingung und haben selbst wieder auf den Ton der Luftsäule Einfluss.

c. Bemerkungen. Savart sucht die Vergleichung des Stimmorgans der Vögel mit einer Zungenpfeife durch die Bemerkung zu widerlegen, dass der Ton eines Mundstücks bei stärkerm Blasen sich nicht bedeutend ändere, dass man dagegen durch veränderte Geschwindigkeit des Luftstroms bei einem Singvogel nach seinen Versuchen vom Grundton aus alle möglichen in anderthalb Octaven begriffenen Töne hervorbringen könne. Ich halte es für durchaus nicht erwiesen, dass das Stimmorgan der Vögel wirklich eine Zungenpfeife darstelle; indess ist der Einwurf von Savart nicht entscheidend. Denn ich habe gezeigt p. 155., dass sich die Töne an Mundstücken mit membranösen Zungen von Kautschuck um einige Töne durch stärkeres Blasen erhöhen lassen, dass diese Erhöhung sich auf alle in einer Quinte liegenden Töne erstreckt bei Zungen von Arterienhaut, dass sich der Ton der Stimmbänder des männlichen Kehlkopfs um alle in einer Quinte liegenden Töne erhöhen lässt, und ganz dasselbe, ja noch mehr kommt an den Mundstücken mit metallischen Zungen vor, wenn die Zunge nur dünn genug ist. Die Töne der dünnen metallenen Zunge in der Schalmei der Kinder konnte ich um mehr als anderthalb Octaven erhöhen, und bei stärkerm Blasen durch alle in anderthalb Octaven möglichen Töne durchgehen. Der Erfolg blieb sich gleich, mochte ich durch die obere Oeffnung der Schalmei blasen, oder das Stück, worin die metallene Zunge steckt, selbst anblasen. Man hat sich bei dem Studium der metallenen Zungen zu sehr an die dicken Zungen der Orgelpfeifen gehalten, bei welchen die gewöhnliche Geschwindigkeit des Luftstroms nicht stark genug ist, um den Ton zu erhöhen; vergl. oben p. 155.

Ob die Töne des Stimmorgans der Vögel nach Analogie der Zungenpfeifen und des menschlichen Stimmorgans entstehen, oder nach Analogie der Labialpfeifen, und ob die Lippen der Stimmritzen des Vogels durch Eigenschwingung tönen oder ob durch die Reibung des Luftstroms an den Lippen die Luftsäule der Luftröhre in Schwingung versetzt werde, scheint mir ganz ausserordentlich schwer und für jetzt fast unmöglich zu entscheiden. Das einfache Stimmorgan vieler Vögel ist unzweifelhaft eine Zungenpfeife, wie z. B. das der Enten, Gänse und anderer. Man sieht nicht allein die heftigen Schwingungen des äussern Stimmbandes, dieser Ton hat auch die grösste Aehnlichkeit mit einem durch Schwingungen von Membranen erzeugten Ton (und dasselbe gilt von allen Vögeln, die einen Membranenton haben, wie die Stimme der Raben, die

doch schon zu den Singvögeln gehören). Auch hat die Länge der Luftröhre der Gans, wenn man durch die Bronchien bläst, nur einen ganz untergeordneten Einfluss auf die Veränderung des Tons, und man kann bei ganz kurzer Luftröhre noch denselben charakteristischen Ton der Gänse, wie bei langen Luftröhren erzeugen. Ob aber der Pfeifenton der Stimmvögel auch hieher gehöre, und der Ton nicht vielmehr wie beim Mundpfeifen entstehe, ist eine andere Frage. Mir ist die Vergleichung mit einem Zungenwerk immer noch wahrscheinlicher. Denn erstens ist es nicht möglich, dass die Lippen der Glottis bei bestimmter Wirkung der Muskeln nicht in Schwingung gerathen, und wenn auch die Reibung der Luft auch Antheil hat, so wird jedenfalls eine Compensation zwischen den Schwingungen der Luft und der Stimmbänder eintreten müssen, dann gehört aber das Stimmorgan des Vogels nicht mehr ganz unter die Labialpfeifen, sondern hat zugleich ein Element der Zungenpfeifen. Dann aber kann ich an dem untern Kehlkopf von Vögeln (Rabe, Staar) an dem blossen Mundstück ohne Luftröhre durch ein in einen Bronchus eingesetztes Rohr Töne hervorbringen, und diese Töne des Mundstücks ändern sich nicht merklich (wie bei dem menschlichen Stimmorgan), wenn ich bei gleich schwachem Blasen ein Röhrchen vorhalte. Bei der Gans hat die Länge der Luftröhre jedenfalls einen sehr untergeordneten Einfluss auf den Ton des untern Kehlkopfes, wie an der menschlichen Zungenpfeife ein Ansatzrohr. Die meisten Veränderungen der Töne lassen sich am Kehlkopf der Vögel offenbar durch verschiedene Stärke des Blasens hervorbringen, wie Savart zeigte, was allerdings an so kleinen Labialpfeifen, wie die Luftröhre der kleinen Singvögel, auch geschehen kann, wie oben p. 178. gezeigt wurde, aber auch an Zungenpfeifen mit membranöser Zunge möglich ist.

Die Luftröhre kann den Ton entweder wie bei einer Labialpfeife verändern, was mir nicht wahrscheinlich ist, oder wie bei den Ansatzröhren der Zungenpfeifen. Die Endöffnung der Luftröhre am obern Kehlkopf kann, wenn sie sich verengert, wie an Labialpfeifen und Zungenpfeifen den Ton vertiefen.

Die Paukenmembran, welche heftig mitschwingt, muss auf den Ton des Mundstücks Einfluss haben, und es muss eine Accommodation zwischen dem innern Labium der Glottis, der Membrana semilunaris und der Paukenmembran stattfinden. Die Paukenmembran gleicht dem schwingenden Häutchen einer Pfeife von Schilfrohr.

* * *

Die meisten Fische sind stumm, nur von einigen wenigen weiss man, dass sie Töne von sich geben; dahin gehören die Trigla, Cottus, Pogonias.

Die Anatomie dieser Thiere ist hinreichend bekannt; aber es ist vollends unmöglich, sich jetzt eine genügende Hypothese über die Erzeugung von Tönen durch diese Thiere zu geben. Daher ich mich auf die kurze Angabe der Facta beschränken muss.

Die Triglen geben einen grunsenden Ton von sich, wenn sie aus dem Wasser genommen werden; die Anatomie dieser Thiere

zeigt uns keine Organe, von welchen man diese Töne mit Sicherheit ableiten könnte. Sollte der eigenthümliche Muskel der Schwimmblase bei diesen Thieren Antheil an jener Tonerzeugung haben? Die Cottus, welche beim Druck auf ihren Körper einen Ton hören lassen, haben nicht einmal eine Schwimmblase. Unter den Sciaenoiden giebt es mehrere Fische, welche Töne geben, am meisten bekannt sind jedoch Corvina ronchus und die Pogonias, welche letztere sich den Namen der Tamboure erworben haben. Sie bringen anhaltende Töne unter dem Wasser hervor; Cuvier und Valenciennes haben die hieher gehörigen Beobachtungen von Mitchill, White, Schoepf, A. v. Humboldt zusammengestellt. Die Schwimmblase dieser Thiere, welche Cuvier und Valenciennes abbildeten, ist sehr gross wie bei den meisten Sciaenoiden, die einen Ton geben, mit starken Muskeln bedeckt, und hat Anhänge, die nach Cuvier zwischen den Rippen in das Fleisch eindringen. Bei einem Pogonias fasciatus, den ich untersuchte, waren leider Eingeweide und Schwimmblase ausgenommen. An den Rippen sassen inwendig bandartige Streifen an, welche wahrscheinlich von der Schwimmblase abgerissen waren, sie waren jedoch nicht hohl. Ausserordentlich stark sind die Pflasterzähne der oberen und unteren Schlundknochen dieser Thiere.

Ueber die von der Sphinx atropos hervorgebrachten Töne und die summenden Töne der Dipteren findet man hinreichende Aufschlüsse bei R. Wagner, Muell. *Arch.* 1836, und Burmeister in Poggend. *Ann. XXXVIII.* Auch die Acheta domestica und die Locusten geben Töne von sich, vergl. Cuv. *regn. anim.* 5. 184.

III. Capitel. Von der Sprache.

Ausser den in dem Stimmorgan gebildeten Tönen von musikalischem Werthe giebt es noch eine grosse Anzahl durch das Ansatzrohr des Stimmorgans hervorzubringender Laute oder Geräusche, durch deren Verbindung mit einander die Sprache entsteht, indem gewisse Verbindungen dieser Laute zur Bezeichnung von Gegenständen, Eigenschaften, Thätigkeiten, Beziehungen dienen. Die Sprachen benutzen nicht alle auf diese Art möglichen Geräusche und Laute, weil ihre Verbindung mit anderen oft schwer ist. Diejenigen, deren Verbindung leicht ist, finden sich zum grossen Theil in den meisten Sprachen. Jede Sprache enthält eine gewisse Anzahl dieser möglichen Laute, niemals finden sich alle möglichen Laute in einer Sprache vereinigt; vielmehr entstehen charakteristische Unterschiede in den Sprachen, in sofern die einzelnen Sprachen gewisse Classen dieser Laute oder einzelne derselben vorzugsweise, andere sparsam oder gar nicht anwenden. Von der Physiologie ist das natürliche System dieser Laute aufzustellen. Die Versuche dazu von Seiten der Grammatik sind durchweg unzureichend, indem man bei der Eintheilung der Laute von unwesentlichen Eigenschaften derselben ausging. Die Eintheilung der Laute nach den Organen, z. B. in

Labiales, Dentales, Gutturales, Linguales, ist bis auf den einfachen Unterschied der Mund- und Nasenlaute, Orales und Nasales, fehlerhaft, indem hier Laute zusammenkommen, welche nach den physiologischen Principien zum Theil ganz verschieden sind; überdiess wirken bei den meisten Lauten mehrere Theile des Mundes zugleich mit. Der Unterscheidung der Mutae, auch der Liquidae liegt etwas Richtiges zu Grunde, aber die Anwendung ist fehlerhaft gewesen. Selbst die Eigenschaften der Vocale im Gegensatz der Consonanten sind nicht hinreichend gewürdigt worden. Durchgängig setzt man ihr Wesen darin, dass sie nicht stumm und blosse Geräusche wie die Consonanten sind, sondern im Stimmorgan ursprünglich angegeben, im Munde aber modificirt werden. Der Unterschied der Vocale von den Consonanten ist indess weit geringer; denn alle Vocale lassen sich stumm, als blosse Geräusche, so gut wie die Consonanten angeben und als blosse Geräusche deutlich unterscheiden, wie es jedesmal beim leisen tonlosen Sprechen, Vox clandestina, geschieht; die lauten Vocale entstehen also bloss durch Mittönen der Stimme. Aber auch eine ganze Classe von Consonanten kann sowohl stumm als blosses Geräusch, wie auch mit Mittönen der Stimme angegeben werden, wie wir bald sehen werden. Der Unterschied der Vocale und Consonanten ist dem Wesen nach ein ganz anderer. Ein Hauptfehler bei mehreren Versuchen einer antürlichen Eintheilung der Laute war, dass man auf ihre mögliche Bildung als Geräusch ohne Ton bei der Vox clandestina zu wenig Rücksicht nahm. Man muss vielmehr, um die Eigenschaften der Laute ihrem Wesen nach zu erkennen, vom leisen tonlosen Reden, Vox clandestina, ausgehen und dann untersuchen, welche der stumm anzugebenden Laute auch mit Ton modificirt hervorgebracht werden können. Hiebei kömmt man auf zwei Reihen von Lauten, eine, deren Glieder nur stumm und der Verbindung mit der Stimme ganz unfähig sind, eine andere, deren Glieder zwar stumm angegeben werden können, aber auch der Verbindung mit der Stimme fähig sind. Eine andere wichtige Unterscheidung der Laute ist die, ob sie bei plötzlich sich ändernder Mundstellung nur einen Moment angegeben werden können und keiner Verlängerung, so weit der Athem reicht, fähig sind (Strepitus incontinuus, explosivus), oder ob sie, indem die Stellung der Mundtheile durchaus verharrt, ad libitum, und so lange der Athem reicht, verlängert werden können (Strepitus continuus). Alle Geräusche der ersten Art sind keiner gleichzeitigen Verbindung mit Stimmton (Intonation) fähig und absolut stumm; fast alle Consonanten der zweiten Art können mit Intonation verbunden werden. Hiedurch entstehen eigenthümliche Modificationen, während hingegen die absolut stummen Consonanten mit Strepitus explosivus incontinuus durch Verbindung mit einer Aspiration, Hauch, einer Umwandlung fähig sind.

Schriften über die Sprache: J. Wallis *de loquela s. sonorum formatione* in C. Amman, *Surdus loquens, Lugd. Bat.* 1727. Kratzenstein *tentamen resolvendi problema ab Acad. Sc. Petrop.* 1780 *propos. Petrop.* 4. Kempelen, *Mechanismus der menschlichen Sprache*

nebst der Beschreibung seiner sprechenden Maschine. Wien 1791. 8. Reitter's *Methodenbuch zum Unterricht für Taubstumme. Wien* 1828. Rudolphi, *Physiologie.* Chladni in Gilb. *Ann.* 1824. *St.* 2. C. Mayer in Meckel's *Archiv f. Anat. u. Physiol.* 1826. R. Schulthess, *das Stammeln und Stottern. Zürich* 1830. 8. R. Willis in Poggend. *Ann. XXIV.* Heusinger in seiner Ausgabe von Magendie's *Physiologie.* Purkinje, *Badania w przedmiocie fizyologii mowy Ludzkiéj. Kraków* 1836. 8. (*Forschungen über die Physiologie der menschlichen Sprache. Krakau* 1836.)

A. Stummes Lautsystem der leiser Sprache, Vox clandestina.

1. Stumme Vocale.

a, e, i, o, u, å, ö, ü, ü, und die Nasenvocale *a, ä, oe, o.* Alle Diese Vocale lassen sich stumm als blosse Geräusche deutlich unterscheidbar aussprechen. Es ist hier die Frage, ob sie als stumme Vocale mit den stummen Consonanten übereinkommen, oder physiologisch sich ganz davon unterscheiden. Alle stummen Consonanten entstehen bloss im Ansatzrohr vor dem Stimmorgan, oder in Mund- und Nasenhöhle als Geräusche der durch den auf verschiedene Art modificirten Canal durchströmenden Luft. Die stummen Vocale verhalten sich aber einigermassen verschieden; denn wenn auch die Stimme dabei nicht tönt, so liegt doch die erste Ursache des stummen Vocales nicht im Munde, sondern in der Stimmritze, wie man durch Versuche an sich bald finden wird. Das Geräusch zur Bildung eines stummen Vocals entsteht, wie es scheint, beim Vorbeiströmen der Luft an den nichttönenden Stimmbändern selbst. Es ist dasselbe Geräusch, wie man es in der Stimmritze auch bei geschlossenem Mund und offener Nase hervorbringen kann, wenn man durchaus allen Ton vermeidet. Durch die verschiedene Gestalt des Mundrohrs bei offenem Munde wird dieses Geräusch so modificirt, dass es als stummes *a, e, i, o, u* tönt.

Die Gestalt des Mundcanals ist bei den stummen Vocalen ganz dieselbe, als bei denselben Vocalen, wenn sie laut gesprochen werden; der einzige Unterschied ist im letztern Fall, dass statt des Geräusches an der Stimmritze ein wirklicher Ton angegeben wird. Kratzenstein und Kempelen haben gezeigt, dass die Bedingungen zur Umwandlung eines und desselben Tons in die verschiedenen Vocale in der Weite zweier Theile, des Mundcanals und der Mundöffnung, liegen, und ebenso ist es bei den stummen Vocalen. Unter Mundcanal versteht Kempelen hier den Raum zwischen Zunge und Gaumen; bei gewissen Vocalen ist die Mundöffnung und der Mundcanal weit, bei anderen beide eng, bei anderen das eine weit, das andere eng. Stellt man sich mit Kempelen in der Weite des Zungen- und Mundcanals 5 Grade vor, so ist bei

a	die	Weite	der	Mundöffnung	5,	die	Weite	des	Mundcanals	3.
e	«	«	«	«	4,	«	«	«	«	2.
i	«	«	«	«	3,	«	«	«	«	1.
o	«	«	«	«	2,	«	«	«	«	4.
u	«	«	«	«	1,	«	«	«	«	5.

Die Verhältnisse für die übrigen Vocale *ä, ö, ü* und das schwed. å lassen sich hiernach leicht finden.

Purkinje hat gezeigt, dass die Bedingungen zur Bildung einiger Vocale, namentlich des *a* und *e*, von Kempelen nicht ganz richtig angegeben worden. Beide hängen hauptsächlich von der Form des Kehlraums zwischen Zungenwurzel und Schlund ab, bei beiden ist dieser Raum gross, bei *e* am grössten, dagegen *a* und *è* bei gleicher Mundöffnung angegeben werden können. Die angegebene Stellung der Lippen bei *o* ist auch nicht nothwendig.

An die reinen Vocale schliessen sich die tiefen Vocale mit Nasentimbre an, *a, ä, o, oe,* z. B. in den Worten sang, singulier, ombre, oeuvre; diese Modificationen entstehen bloss durch Verengerung des Gaumenbogens und Erhebung des Kehlkopfes.

II. Stumme Consonanten mit Strepitus aequalis s. continuus. Continuae.

Alle Consonanten, welche hieher gehören, können in einem Stück, so lange der Athem reicht, ausgesprochen werden, indem die Stellung der Mundtheile beim Anfang, wie bei der Dauer und dem Ende der Bildung des Lautes dieselbe bleibt. Ich kann z. B. in einem fort *f, ch, s, r, l* u. a. hervorbringen. Ganz anders ist es mit denjenigen Consonanten, die durch einen Strepitus inaequalis s. explosivus gebildet werden, *β, δ, γ, π, τ, κ;* sie können, da die Stellung der Mundtheile am Anfang der Bildung eine ganz andere ist, als in der Mitte und am Ende ihrer Bildung, nur einen Moment dauern, bis die plötzliche Veränderung der Stellung der Mundtheile geschehen ist, *Explosivae* Amman.

Consonanten mit Strepitus aequalis seu continuus sind *h, m, n,* ñ (*ng*), *f, ch, sch, s, r, l.* Sie können wieder in drei Abtheilungen gebracht werden.

1. *Continuae orales durch den ganz offenen Mundcanal.* Hieher gehört bloss die Aspiration *h.* Es findet hier keinerlei Opposition der Mundtheile gegeneinander als Ursache des Geräusches beim Durchgehen der Luft statt. Das Geräusch der Aspiration ist der einfachste Ausdruck der Resonanz der Mundwände beim Ausathmen der Luft. Das *H* fehlt der italienischen Sprache. Ueber den Gebrauch des *H* in den verschiedenen Sprachen siehe Purkinje a. a. O.

2. *Continuae nasales durch den ganz offenen Nasencanal.* Nasenlaute: *m, n,* ñ oder *ng.* Bei diesen geht die Luft ganz einfach durch den Nasencanal durch, während die Mundhöhle entweder durch die Lippen oder die an den Gaumen sich legende Zunge geschlossen ist. Auch hier findet keine Opposition der Theile, zwischen welchen die Luft durchgeht, statt. Bei allen drei Consonanten dieser Abtheilung bildet die Mundhöhle ein kürzeres oder längeres blindes, am Ende geschlossenes Divertikel des Rachens und Nasencanals; dieses Divertikel ist bei *m* am grössten, bei *n* kleiner, am kleinsten bei *ng.* Bei *M* wird der Mund durch die Lippen geschlossen, diess hat Einige, wie Rudolphi u. A., verleitet, *m* als einen Lippenbuchstaben anzusehen, was es nicht ist,

die Lippen schliessen nur die Mundhöhle, nicht durch den Act dieses Schlusses, sondern nach dem Schluss wird *m* gebildet durch einfachen Durchgang der Luft durch den Nasencanal unter Resonanz des Divertikels des Mundcanals.

Bei *N* wird der Mund durch die an den vordern Theil des Gaumens sich anlegende Zungenspitze geschlossen.

Bei *Ng*, oder ñ, einem ganz bestimmten Consonanten vieler Sprachen, auch der deutschen, geschieht der Schluss des Mundcanals nur etwas weiter nach hinten, nämlich durch den Zungenrücken, welcher sich an den hintern Theil des Gaumens anlegt. Es ist keine Zusammensetzung von zwei Consonanten, sondern ein einfacher Laut, so gut wie *m* und *n*, z. B. sing, bang. Das französische *ng* liegt noch tiefer.

3. *Continuae orales durch klappenartige Opposition von Mundtheilen gegeneinander. f, ch, sch, s, r, l.* Die Theile, welche klappenartig in Opposition treten und dem Durchgang der Luft ein Hinderniss darbieten, sind bald die Lippen wie bei *f*, bald die Zähne wie bei *sch* und *s*, bald Zunge und Gaumen, wie bei *ch, r, l.*

F, Stellung der Lippen zum Blasen. Es giebt zwei Modificationen dieses Blasegeräusches, das reine *F* und *W*.

1) Bei *F* ist die Lippenöffnung mehr rund.

2) bei *W* lassen die Lippen eine zwar enge, aber ganz breite Spalte zwischen sich.

Ch oder χ, bei welchem letztern kein Missverständniss entstehen kann, da diess Zeichen nie zugleich andere Laute bedeutet. Dieser Laut fehlt der französischen Sprache, ihr *ch* ist unser *sch*. Die Zunge liegt am Gaumen nahe an; die Luft geht zwischen Gaumen und Zunge durch einen engen Zwischenraum. Es giebt drei χ, je nach der Stelle, wo die Zunge dem Gaumen genähert wird.

1) Bei dem ersten oder vordern χ liegt der vordere Theil der Zunge nahe dem vordern Theil des Gaumens, so ist das χ in lieblich, selig (das χ wird in der deutschen Sprache bald durch das *ch*, bald durch *g* ausgedrückt).

2) Bei dem mittlern χ liegt die Zunge mit ihrem Rücken nahe am mittlern Theil des Gaumens; es klingt sehr verschieden von dem vorhergehenden, wie in den Wörtern auch, Tag, sagen, suchen, Aachen, ach. Kempelen hat bemerkt, dass diess χ immer nach einem *a*, *o* oder *u* folgt. Diess ist jedoch nicht nothwendig; in der deutschen Sprache ist diess zwar gewöhnlich so, aber Jeder kann auch diese Vocale mit dem ersten oder vordern χ verbinden, bei manchen Wörtern geschieht es auch in der gemeinen Sprache, z. B. im Worte Papachen, Mamachen. Die polnische Sprache hat das zweite *ch* auch, und in der Gegend von Aachen ist es sogar gewöhnlich, so dass dort das χ in Aachen wie in Papachen ausgesprochen wird.

3) Bei dem hintern χ, welches den Schweizern, Tyrolern, auch den Holländern eigenthümlich ist, wird der Zungenrücken dem hintersten Theil des Gaumens oder Gaumensegel genähert; *chet* hebr., *cha* arab., nach Purkinje auch im Böhmischen.

Sch, ein sehr bestimmter und einfacher Laut, wofür unsere Sprachen kein besonderes Zeichen haben. Das *che* der Franzosen. Die Zähne der obern und untern Kinnlade sind sich genähert oder liegen sogar auf einander, die Zunge steht hinter den Zähnen mit ihrer Spitze, ohne sie zu berühren. In Westphalen verwechselt man diesen einfachen Laut mit σχ.

S. Die Zähne sind einander genähert, oder berühren sich, die Zungenspitze berührt die untere Zahnreihe. Eine Modification ist das *th* der Engländer. Das lispelnde *s* ist fehlerhaft.

R. Die Zunge vibrirt gegen den Gaumen. Nicht jeder Zitterlaut ist *R*, beim Brummen mit vibrirenden Lippen kömmt z. B. kein *R* heraus. Haller stellte sich die Vibrationen der Zunge beim *R* als ebensoviel willkührliche Bewegungen vor und wollte daraus die Schnelligkeit der Nervenwirkung berechnen; diess ist aber offenbar ein Missverständniss, denn die Vibrationen sind hierbei blosse, durch den Luftstrom an der widerstrebenden Zunge bewirkte Bebungen und so wenig einzelne willkührliche Acte, als das Beben der Lippen beim Brummen auf den Lippen.

Es giebt zwei *R*.

1) Das reine oder Zungen-*R*; hier ist die Zunge der vibrirende Theil und das Gaumensegel ruhig.

2) Das Gaumensegel-*R*; hier ist die Zunge ruhig und das Gaumensegel vibrirt. Bei Franzosen häufig als Angewöhnung.

Das *R* fehlt im Chinesischen.

L. Die Zungenspitze liegt am Gaumen dicht an, die Luft geht nur auf beiden Seiten zwischen Zunge und Wangen durch. Man kann es auch auf einer Seite allein bilden. Dieser Laut fehlt in der Zendsprache.

Kempelen rechnet einige dieser Laute unter die Stimmmitlauter, weil die Stimme dabei mittöne, wie das *R*, *L*; indess können sie alle stumm angegeben werden; durch Mittönen der Stimme werden sie nur modificirt, was bei dem leisen Reden jedoch nicht in Betracht kömmt.

III. Stumme Consonanten mit Strepitus explosivus.

Es gehören hieher das β, γ, δ, und ihre Modificationen, das π, κ, τ. Es sind die *Explosivae* von Amman.

Die Stellung der Mundtheile, die zur Bildung dieser Consonanten dienen, ändert sich plötzlich; die Bildung beginnt mit Schluss des Mundes und endigt mit Oeffnung desselben. Daher können diese Consonanten nicht ad libitum verlängert werden, der Laut hört auf, sobald der Mund geöffnet ist.

1. *Explosivae simplices b, d, g* (*Gamma*).

B, β. Der Mund ist durch die Lippen geschlossen und öffnet sich mit Durchgang des Windes.

D, δ. Der Mund ist durch die an den vordern Theil des Gaumens oder an die obere Zahnreihe angelegte Zunge geschlossen und öffnet sich mit Durchgang des Windes.

G, γ. Die Mundhöhle ist weiter hinten durch Anlegen des hintern Zungenrückens an den Gaumen geschlossen und öffnet sich mit Durchgang des Windes. Nur das Gamma in Gang, ging,

Gold, Gulden, Geld gehört hieher. Sehr oft wird das *g* in der Schriftsprache mit *χ ch* verwechselt, diess falsche *g*, wie in selig, gehört nicht hieher.

Die stummen Laute *b*, *d*, *g* werden in der Regel durch plötzliches Oeffnen der verschlossenen Wege gebildet. Man kann aber auch durch plötzliches Schliessen *b*, *d*, *g* bilden.

2. *Explosivae aspiratae, p, t, k.*

Die dem *b*, *d*, *g* entsprechenden Laute *p*, *t*, *k* sind nur Modificationen der erstern und entstehen durch Verbindung einer Aspiration mit *b*, *d*, *g* beim Oeffnen des Mundes; aus *B* wird durch Aspiration *P*, aus *D* wird durch Aspiration *T*, aus Gamma wird durch Aspiration *K*. Die Aelteren und auch Kempelen, Rudolphi setzen den Unterschied der zweiten Reihe von der ersten in einem Mittönen der Stimme bei *b*, *d*, *g*. Diess ist nicht richtig, sie können vielmehr ganz stumm gebildet werden. Schulthess setzt ihr Wesen in die Stärke des Luftstroms, was ganz richtig ist, doch ist die Verschliessung der hinteren Nasenöffnungen nicht vor dieser stärkern Explosion nöthig. Der einzige Unterschied zwischen der ersten und zweiten Reihe liegt bloss in der folgenden Aspiration bei *p*, *t*, *k*.

Diese Erklärung wurde bereits im Grundriss der Physiologie 1827 gegeben.

Mehrere explosive schmatzende Laute, die uns möglich sind, werden in den Sprachen nicht angewendet.

Alle Hauptlaute der articulirten Sprache gehören, wie man sieht, zum Lautsystem des leisen oder stummen Sprechens. Nur einige wenige Modificationen der Consonanten, welche zu ihrer Bildung das Mittönen der Stimme erfordern, können beim leisen Reden nicht vorkommen, wie das deutsche *j*, das franz. *j*, *ge*, das franz. *z*, das intonirte *l*, das intonirte *r*. An die Stelle dieser intonirten Consonanten treten beim leisen Sprechen die entsprechenden stummen Consonanten,

nämlich an die Stelle des deutschen *j* das *ch*,
« « « « des franz. *j* das *sch*,
« « « « des franz. *z* das *s*,
« « « « des intonirten *l* das stumme *l*,
« « « « des intonirten *r* das stumme *r*.

Man sieht hieraus, dass das Aussprechen der Consonanten als blosse Geräusche beim ersten Unterricht der Kinder zwar für den grössten Theil der Consonanten möglich ist, dass aber die ganze Reihe der intonirten Consonanten auf diese stumme Weise nicht zu bilden ist, daher jene Methode, ohne diese Kenntniss angewandt, eher nachtheilig als förderlich ist, indem sie bei diesen intonirten Consonanten etwas Unmögliches unternimmt, während die Methode sonst ihre grossen Vortheile hat.

B. Lautsystem der lauten Sprache.

Bei der lauten Sprache bleiben einige Consonanten stumm und auf blosses Geräusch beschränkt, indem sie durchaus keines Mittönens der Stimme fähig sind, wie die Explosivae *b*, *d*, *g* und

ihre Modificationen *p, t, k,* aus der Reihe der Consonanten mit Strepitus continuus das *h.* Andere Consonanten sind bei der lauten Sprache einer doppelten Pronunciation fähig, der stummen und der lauten, im letztern Fall mit Mittönen und Summen der Stimme, wie das *f, ch, sch, s, l, r, m, n, ng.*

Die Vocale sind laut.

I. Vocale. Die Stellung des Mundes ist wie bei ihrer stummen Pronunciation. Der Ton entsteht im Kehlkopf wie das Geräusch bei den stummen Vocalen, und der Kehlkopfton wird durch den Kehlcanal, Mundcanal und die Mundöffnung zu *a, e, i, o, u, ü, ö, ä,* å, und die tiefen näselnden Vocale *a, ä, o, oe* franz. umgebildet. Siehe p. 231. Die Diphthongen sind Verbindungen zweier Vocale, und werden von Rudolphi mit den wahren Vocalen *ü, ö, ä* verwechselt. Endlich gehört noch hieher als sehr bestimmter Vocal das sogenannte stumme *e,* hebräisch *schwa,* das auch im Deutschen vorkömmt, wenigstens in Dialecten in habe, sage. Dieser Laut ist den leisen Vocalen schon sehr nahe.

Die leisen Vocale kommen bei der lauten Sprache in der Regel nicht vor. Doch findet sich eine Spur davon in Slavischen Sprachen, z. B. im Polnischen. Bei dem Wort wab' folgt auf *b* ein leises tonloses *i.* Dasselbe Zeichen drückt auch bei einigen andern Consonanten die Folge des leisen *i* aus, aber sehr leicht geht das leise *i* in *ch* über, dessen Bildung dem leisen *i* so nahe liegt. Krom'. Ausser den Vocalen tönt die Stimme auch bei mehreren Consonanten summend mit, ohne sich dem Timbre eines Vocales zu nähern. Diese Art von Intonation ist sowohl bei offenem Mund, als bei geschlossenem Mund bei offenem Nasencanal möglich.

II. Consonanten, welche in der lauten Sprache stumm bleiben.

1. Explosivae *B, D, G* (Gamma) und ihre Modificationen *P, T, K.* Es ist platterdings nicht möglich, diese stummen Consonanten mit Intonation der Stimme zu verbinden. Versucht man sie laut auszusprechen, so hängt sich die Intonation hinten an, und ist ein mit *b, d, g* oder *p, t, k* verbundener Vocal.

2. Continuae. Die einzige Continua, welche ganz stumm und keines Mittönens oder Summens der Stimme fähig ist, ist das *h,* die Aspiration. Versucht man das *h* laut auszusprechen, so tönt das Summen der Stimme nicht gleichzeitig mit *h,* sondern folgt ihm und die Aspiration erlischt auf der Stelle, sobald die Luft an den Stimmbändern zum Ton anspricht.

III. Consonanten, welche in der lauten Sprache sowohl stumm als blosses Geräusch, als auch mit Intonation der Stimme gesprochen werden können; es sind lauter Continuae: *f, ch, sch, s, r, l, m, n, ng.* Die intonirten dieser Reihe fehlen in vielen Sprachen, die französische Sprache hat die meisten intonirten Continuae, welche sie zuweilen durch besondere Buchstaben, wie *z* das intonirte *s, j* das intonirte *sch,* oder durch das stumme *e* hinter *l, m, n, r* ausdrückt; ein kurzes und leises *e* hinter *l, m, n, r* ist diess nicht, sondern eine gleichzeitige Intonation bei dem Aussprechen jener Consonanten. Das stumme *e* am Ende anderer Buchstaben bedeutet dagegen gar nichts, wenn es nicht dazu dient, ein Schriftzeichen, das auch für andere Laute gebraucht

wird, näher zu bestimmen; *ge* z. B. und *che* sind das deutsche stumme *sch*, während *g* vor *a* das Gamma ist. Die deutsche Sprache unterscheidet nur in einem Fall einen intonirten Consonanten von seinem entsprechenden Stummen, das deutsche *j*, welches von dem franz. *j* verschieden. Das deutsche *j* ist das intonirte *ch*, das franz. *j* das intonirte *sch*. Kempelen hat mehrere der intonirten Consonanten sehr gut gekannt, er weiss z. B., dass das deutsche *j* durch Intonation des *ch* entsteht, a. a. O. p. 209., dass das franz. *z* ein säuselndes intonirtes *s* ist (367.), dass das franz. *j* ein säuselndes intonirtes *sch* ist (346.). Auch rechnet er *l*, *m*, *n*, *r* zu den Stimmmitlautern, ich kann aber damit nicht übereinstimmen, dass diese Consonanten an und für sich und in lauter Sprache immer intonirt seyn sollen, denn sie werden eben so rein in der lauten Sprache ohne Stimme gebildet. Zudem rechnet Kempelen auch das *b*, *d*, *g* zu den intonirten, da sie doch absolut stumm sind, so gut wie *p*, *t*, *k*, die Kempelen richtig als absolut stumm ansieht. Ich lasse hier die entsprechenden Reihen der stummen und intonirten Continuae folgen.

Continuae nasales.

Stumm.	Intonirt.
m	*m*. In der franz. Schrift stummes *e* hinter *m*, klingt aber mit *m*.
n	*n*. In der franz. Schrift stummes *e* hinter *n*, klingt aber mit *n*.
ng	*ng*. Kann ad libitum intonirt werden.

Die intonirten können auch einen Moment bei zugehaltener Nase gebildet werden.

Continuae orales.

f und *w* . . .	*w*. Ein intonirtes *f* klingt wie ein intonirtes *w*.
χ, deutsch *ch*, fehlt dem Franz.	*j*. Deutsch in ja. Spricht man *cha* mit Intonation des *ch*, so ist es ja. Auch im Polnischen im Wort Ja (ich). Kömmt im Franz. nur als Verbindung mit *l* im sogenannten *l* mouillé vor, wie eben in dem Wort mouillé.
sch, franz. *che* .	*j*. Franz. in jamais. Spricht man schamais mit Intonation des *sch*, so ist es jamais. Das Poln. *ż* ist derselbe intonirte Laut, auch *rz*.
l	*l*. In der franz. Schrift stummes *e* hinter *l*, klingt aber mit, nicht hinter *l*, in salle, sable, ville (das *l* mouillé gehört eigentlich nicht hieher und ist *lj*); auch das polnische modificirte Ł ist intonirt.
r	*r*. In der franz. Schrift stummes *e* hinter *r*, klingt aber mit *r* nicht hinter *r*, in einigen Wörtern wie verre.
s	*z*. Franz. Spricht man das zone, zèle mit stummem *s* aus, so ist es sone, sèle, intonirt man das *s* leise, so ist es das franz. zone, zèle. Das polnische *z* gehört auch hieher, es ist ein intonirtes *s*.

Wir haben die letztere Parallele schon im *Grundriss der Physiologie. Bonn* 1827. aufgestellt. Die Vertheilung der stummen und intonirten Continuae in den verschiedenen Sprachen und ihre Anwendung in Verbindungen ist sehr verschieden. Die Continuae nasales *m*, *n* können sehr gut im Anfange der Wörter stumm seyn, z. B. in Mond, Narr, am Ende der Wörter sind sie meistens intonirt, besonders wenn sie hinter anderen Consonanten folgen, wie in Darm. Das *ng* kann zwar stumm gebildet werden und ist beim leisen Sprechen in magnus sehr deutlich, beim lauten Sprechen ist es immer etwas intonirt.

Die Continuae orales *r* und *l* können im Anfang der deutschen Wörter ganz stumm seyn, wenigstens stumm beim lauten Sprechen prononcirt werden, wie in R a n d, L a n d. Am Ende der Wörter können sie zwar auch stumm gegeben werden, wie in w a r, werden jedoch meist etwas intonirt, selbst im Deutschen, wo kein stummes *e* die Intonation anzeigt. Zuweilen können ganze Vocale zwischen Consonanten ausfallen, wenn die Consonanten intonirt werden, z. B. m e r für m i r ist bloss eine Verbindung von einem intonirten *m* und *r*, oder gar von einem stummen *m* und intonirten *r*. Das modificirte polnische ł ist intonirt. Die Intonation beim *r* kann sich übrigens sowohl dem *u* als dem *i* nähern, das letztere in fille.

Ein ganz stummes *r* kömmt zuweilen in den slavisehen Sprachen vor, wie Purkinje von Piotr (Polnisch) und Wytr-wam anführt. Das stumme *l* kömmt auch im Polnischen vor, hinter anderen Consonanten, z. B. kladl, szbladl, szedl, aber diess *l* wird von Vielen gar nicht, nicht einmal stumm ausgesprochen.

Zuweilen wird die Intonation gesucht, durch Affectation, z. B. bei affectirt zorniger, unwilliger Anrede H e r r . . . r!

Das stumme *ch*, *χ* ist vielen Sprachen eigen, auch das intonirte *χ* oder das deutsche *j*. Die deutsche Sprache hat das stumme *sch*, die französische das intonirte *sch* oder franz. *j*. Das intonirte *s* oder *z* ist der französischen Sprache eigen. Man sieht, dass die französische Sprache sich durch die Anzahl der säuselnden intonirten Laute auszeichnet, was für sie charakteristisch ist. Von den intonirten Consonanten besitzt die deutsche Sprache wenige, nämlich nur das *j* oder intonirte *χ*, das intonirte *r*, *l* und *f*. Dagegen haben die französische und die slavischen Sprachen trotz ihrer grossen anderweitigen Verschiedenheit mehr intonirende Consonanten, wie die französische und polnische das intonirte *s* oder *z*, das intonirte *sch* oder *j* franz., und die polnische selbst noch das intonirte *χ*, nämlich *j* deutsch. Das stumme *χ* fehlt dem Französischen ganz, vom intonirten *χ* kömmt eine Spur bei *l* vor im sogenannten *l* mouillé, welches nichts anders ist als ein tönendes *l* mit einem tönenden *χ*. In den slavischen Sprachen fällt aber die grosse Menge der Zischlaute und ihre Verbindung ohne Vocale auf, in den romanischen sind diese Verbindungen um so seltener und das Vorherrschen der Vocale giebt diesen Sprachen mehr Klang und Gravität.

Charakteristisch ist für die französische Sprache der häufige Gebrauch der Nasenlaute *m*, *n*, *ng*, und noch bedeutsamer, dass

sie bloss die Verbindungen des Consonanten *ng* mit *a*, *o*, *ä*, namentlich mit den Nasenvocalen hat, während ihr die klangreichen Verbindungen mit *e*, *i*, *u* abgehen. In der deutschen und englischen Sprache giebt es alle Verbindungen der Vocale mit dem Nasenconsonanten *ng*

ang, *eng*, *ing*, *ong*, *ung*.

Auch da, wo die franz. Schriftsprache die Verbindung *em*, *ing* hat, treten in der Mundsprache zuweilen andere Vocale ein, wie in empereur, singulier. Von dieser Armuth in der Anwendung der verschiedenen möglichen Nasenlaute und von desto häufigerer Anwendung gewisser Nasenlaute mit den Nasenvocalen *a*, *ä*, *o* ist eine Art von nasaler Monotonie abzuleiten, während die französische Sprache sich in anderer Hinsicht, nämlich durch den Reichthum an intonirten weichen Consonanten so schön auszeichnet. Besonders auffallend ist der grosse Gebrauch des Tons *ang*, in den vielen Bezeichnungen dieses Lauts in Temps, sang, evidemment u. a.

Die vorher aufgeführten Laute sind die wesentlichen Elemente aller ausgebildeten Sprachen, die verschiedenen Bezeichnungen derselben, ihre Verwechselungen unter einander gehören nicht hieher. *q*, *x*, *z* sind keine selbstständigen Consonanten, sondern Verbindungen. Ueber das Vorkommen der verschiedenen Laute in den verschiedenen Classen der Sprachen siehe Purkinje a. a. O.

Ausser den gewöhnlichen in den Sprachen benutzten Consonant-Geräuschen giebt es noch eine Menge anderer möglicher, im Munde und in der Kehle zu bildender Geräusche, bald explosiver, bald continuirlicher Art, wie das Schmatzen, Gurgeln, Räuspern, Hemsen, Aechzen, Küssen, ~~Schmatzen~~, Niesen, Stöhnen, das *ll* bei hin- und hergeschlagener Zunge, das Schlürfen, Schnarren auf den Lippen *brrr*, das Schnalzen durch Abziehen der Zunge von den Zähnen, vom Gaumen. Alle diese Laute werden in der Regel in den Sprachen nicht angewandt, nur die Schnalzlaute sollen nach Lichtenstein und Salt bei den Hottentotten und anderen africanischen Völkern vorkommen.

Die verschiedenen Geräusche und Klänge der Sprache müssen, wie sie unter bestimmten physicalischen Bedingungen entstehen, auch künstlich durch Maschinen sich nachbilden lassen. Einige entstehen sehr leicht auf diese Art, wie das *b*, wenn man in eine cylindrische Röhre intonirt, die Hand vor die Röhre hält und dann wegzieht, *w* auf dieselbe Art, wenn die Röhre eine Zungenpfeife mit membranöser Zunge ist. Kratzenstein, Kempelen und R. Willis haben sich damit beschäftigt. Es ist gelungen, einen grossen Theil der Sprachlaute nachzubilden. Aber diese Maschinen haben immer etwas Unvollkommenes, weil für jeden Selbstlauter und Consonanten ein besonderer Apparat nöthig, die Verbindung dieser Werkzeuge bei gemeinsamer Windlade zur Wortbildung ungemein schwer ist. Wir dürfen uns nicht wundern, wenn auch einzelne Vögel, wie Papageyen, Raben zur Bildung von articulirten Tönen fähig sind, da ihr Mund im Allgemeinen dieselben Wände mit klappenartig wirkenden Theilen enthält. Die Erlernung dieser Laute geschieht hier ohne Zweifel auf ähnliche Art wie beim menschlichen Kinde.

Bei einer zwecklosen Production verschiedener Laute prägen sich die Bewegungen ein, welche zur Bildung jedes Geräusches nöthig sind, und sind bereit wieder sich zu associiren, wenn einer dieser möglichen Laute vorgesagt wird.

C. Bauchreden.

Eine besondere Art der Sprache ist beim Menschen als sogenanntes Bauchreden bekannt. Einige, wie Magendie, halten dafür, dass die durch das Bauchreden hervorgebrachten Töne nur sehr verschiedene Modificationen des Klanges sind, welche durch das Stimmorgan hervorgebracht werden; Andere glauben, dass in der That den beim Bauchreden angegebenen Tönen eine gemeinsame besondere Ursache, wie z. B. das Articuliren während der Inspiration, zu Grunde liege. Diess ist die gewöhnliche Ansicht vom Bauchreden. Es ist nicht zu läugnen, dass sich auch beim Einathmen articuliren lässt, obgleich diess ziemlich schwer ist, und dass die auf diese Weise zu bildenden Töne einige Aehnlichkeit mit den Tönen der Bauchredner haben. Doch halte ich diese Ansicht für nicht richtig. Denn es lässt sich viel leichter auf eine andere Art die Sprache der Bauchredner vollkommen nachahmen, indem man dadurch den Tönen ein ganz eigenes Timbre ertheilt. Ich bin im Stande, durch Anwendung dieser sogleich anzugebenden Mittel, sehr geläufig in den Tönen der Bauchredner zu sprechen, und ich bin überzeugt, dass die Bauchredner sich dieses Mittels bedienen müssen. Zu diesem Zwecke inspirire ich tief, so dass das abwärts steigende Zwergfell die Baucheingeweide stark nach vorwärts treibt; nicht während der Inspiration bilde ich dieses eigenthümliche Register von Tönen, um welche es sich handelt, sondern beim Ausathmen, aber das Ausathmen ist eigenthümlich, es geschieht bei ganz enger Stimmritze sehr langsam durch Contraction der Brustwände, während das Zwergfell seine Stellung wie bei der Inspiration behauptet, und der Bauch also während des Sprechens bei der Exspiration aufgetrieben bleibt. Durch die Intonation bei ganz enger Stimmritze und schwachem Anspruch mit den blossen Seitenwänden der Brust, ohne die Bauchmuskeln entsteht das eigene Timbre der Töne dieses Registers. Man kann auf diese Art Töne bilden, wie der Ruf eines Menschen aus weiter Ferne. Anfangs glaubt man, weil der Bauch beim Reden angeschwollen bleibt, das Bauchreden geschehe bei der Inspiration; man kann sich aber bald überzeugen, dass man wirklich exspirirt; denn wenn man so lange das Bauchreden fortgesetzt, bis man keinen Athem mehr hat, so ist die Brust immer enger geworden und es ist, wenn kein weiterer Ton, aus Mangel an Luft in der Windlade, mehr möglich ist, nun wieder eine Inspiration nöthig.

Vieles bei denjenigen, welche als Bauchredner auftreten, ist blosse Täuschung anderer Sinne, als des Gehörs, z. B. das Reden wie aus bestimmten Gegenden; wir unterscheiden überhaupt die Richtung der Schallstrahlen sehr wenig und wenn die Aufmerksamkeit des Hörenden auf eine Gegend gelenkt wird, so ist die Vorstellung sogleich bereit, das Gehörte an einen bestimmten Ort zu versetzen.

D. Fehlerhafte Sprache.

Die richtige Aussprache setzt sowohl eine gute Bildung der Mundhöhle voraus, als ein gutes Gehör. Die Unvollkommenheiten der Sprache entstehen aus dem Mangel des einen und andern. Die Sprache wird mangelhaft in Beziehung auf die Bildung einzelner Laute und zugleich näselnd, wenn ein Loch im Gaumen sich befindet; sie wird unvollkommen beim Mangel der Zähne. Ueber die Fehler bei den einzelnen Buchstaben siehe Kempelen und Schulthess a. a. O. Durch Ungewandtheit und Unbeweglichkeit der Zunge entsteht das Stammeln. Die Trunkenheit bringt diesen Zustand vorübergehend hervor, Lähmung des N. hypoglossus dauernd. Die Sprache kann aber auch durch Mangel in der gehörigen Folge der Laute unvollkommen werden, während doch die reine Bildung der Laute nicht aufgehoben ist, diess ist das Stottern. Gute Aufklärungen über das Stottern findet man in der erwähnten Schrift von Schulthess. Das Stottern besteht in einem momentanen Unvermögen, einen Consonanten oder Vocal auszusprechen, oder ihn mit vorhergehenden zu verbinden. Diess Hinderniss kann im Anfange oder in der Mitte der Wörter eintreten. Liegt der schwer auszusprechende Buchstabe in der Mitte eines Wortes, so wird oft der Anfang der vorhergehenden Sylbe oder diese mehreremal wiederholt, z, B. Zi-zi-zi-Zitze, L l l lachen. Im ersten Fall fehlt es an der Verbindung des Consonanten *t* mit dem vorhergegangenen Stimmlaut *i;* im zweiten Fall an der Verbindung des Stimmlauts *a* mit dem vorhergegangenen Consonanten *l.* Das Wiederholen des vorhergehenden ist, wie Schulthess mit Recht bemerkt, nicht das Wesentliche beim Stottern, sondern nur ein neues Ansetzen, um den Uebergang zu finden. Ist der vorhergehende Consonant eine *Explosiva*, die sich nicht anhalten lässt, so tritt leichter das Wiederholen ein, weil sich die Explosivae *b, d, g* (Gamma) und *p, t, k* eben nicht ad libitum, bis der Vocal folgt, verlängern lassen. Ist der vorhergehende Consonant aber eine *Continua*, welche sich ad libitum verlängern lässt, z. B. *m, n, ng, f, χ, sch, r, l, s*, so ist die Wiederholung nicht gerade nothwendig, weil sich diese Continuae anhalten lassen, bis der Vocal folgt. Beispiele: b b b bald, l — lachen. Es kömmt indess auch vor, dass der Stotternde die Continua wiederholt und l l l lachen spricht. Zuweilen werden unwillkührlich nicht dahin gehörende Buchstaben eingeschoben, *d, t, ng, nd* und anderes. Vergl. Schulthess a. a. O. p. 74. Schulthess stellt die Ansicht auf, dass es keineswegs die Consonanten seyen, deren schwierige Articulation das Stottern bewirke, sondern die Stimmlaute oder Vocale. Diese Bemerkung fliesst aus einer guten Beobachtung der Natur, indessen geht sie, indem sie die bisherige fehlerhafte Ansicht verbessert, doch zu weit, denn oft ist der Vocal schon gebildet da, aber der folgende Consonant will sich nicht damit verbinden. Ich kannte einen jungen Mann von ausgezeichneten mathematischen Kenntnissen, der früher stark gestottert hatte, und wenn er seinen Namen aussprach, leicht Te — tessot statt Tessot sagte. Auch

liegt das Hinderniss oft schon am ersten Consonanten eines Wortes, auch in diesen Fällen ist die Ursache der Hemmung weniger in den bei der Articulation thätigen Mundtheilen, als vielmehr darin, dass der Durchgang der Luft durch die Stimmritze für den Anspruch zu einem gewissen Consonanten durch augenblickliches Schliessen der Stimmritze versagt wird. Diess Versagen und Schliessen der Stimmritze, auf welches besonders Arnott (*Elements of Physics or natural Philosophy*) aufmerksam gemacht hat, tritt nur bei der Association mit gewissen Articulationen ein, während der Durchgang der Luft für andere Articulationen, z. B. für Wiederholung der vorhergehenden Sylbe, leicht ist. In der Hauptsache ist immer das Hinderniss in der Stimmritze, sey es, dass sie den geforderten Ton nicht giebt, wenn es ein Vocal seyn sollte, oder dass sie die Luft bei dem Versuch zu einer Articulation im Munde nicht durchlässt. Diese Arbeit an der Stimmritze giebt sich deutlich genug an den stark Stotternden durch die Verhinderung der Exspiration und die Congestion des Blutes in dem Kopfe und in den Halsvenen zu erkennen. Das Wesen des Stotterns liegt also offenbar in einer pathologischen Mitbewegung im Kehlkopfe mit den Mundbewegungen oder Articulationen. Beim höchsten Grade der Anstrengungen des Stotternden treten auch Mitbewegungen im Gesichte ein. Der Fehler ist ein ähnlicher, wie wenn jemand einen Gesichtsmuskel zusammenziehen will, und dabei durch Mitbewegung und verhinderte Isolirung des Nerveneinflusses das ganze Gesicht verzieht. Siehe die Lehre von den Mitbewegungen. I. Bd. p. 662. II. Bd. p. 85.

Ich stimme Arnott und Schultheß vollkommen bei, wenn sie die nächste Ursache des Stotterns in *eine krampfhafte Affection an der Stimmritze* setzen. Diese Affection ist momentane Schliessung der Stimmritze (theils durch Aneinanderlegen der Cartilagines arytenoideae, theils durch Druck der Musculi thyreo-arytenoidei, welche die Stimmbänder aneinanderpressen können). Man muss festhalten, dass diese momentane Affection eine pathologische Association mit gewissen Mundbewegungen, namentlich Zungenbewegungen ist und ganz davon abhängt. Die Stellung der Mundtheile für das *b* ist da, die Lippen können auch wie beim *b* geöffnet werden, aber es fehlt daran, dass wenn diess geschehen soll oder geschieht, der Hauch der Luft aus der Stimmritze nicht erfolgt. Die naturgemässe Einleitung zur Verhinderung des Stotterns wird also die Erzielung einer leichten Association zwischen den Articulationen und den Bewegungen des Kehlkopfes seyn. Das Singen der Wörter ist schon ein Mittel hiezu, indem es die Aufmerksamkeit mehr auf den Antheil des Kehlkopfes am Aussprechen lenkt, als es beim gewöhnlichen Sprechen der Fall ist. Stotternde singen auch die Wörter besser, als sie sie sprechen.

Das zu niedrige Halten der Zunge im Munde scheint das Stottern zu befördern. Auf der Vermeidung dieser Lage der Zunge und Erhebung der Zungenspitze gegen die Gaumen beruht die Methode der Mad. Leigh. Siehe Schultheß a. a. O. p. 166.

Hicher gehört auch das Unterlegen von Körpern unter die Zunge, was den Alten schon bekannt war. Die Methode, welche Arnott a. a. O. angiebt, beruht wenigstens auf einer richtigen physiologischen Anschauung des Stotterns. Wären die Lippen der Glottis, sagt Arnott, sichtbar gewesen, gleich den Lippen des Mundes, so würde die Natur des Stotterns nicht so lange ein Geheimniss geblieben seyn. Die Stimmritze schliesst sich von Zeit zu Zeit beim Stotternden, es kömmt also darauf an, dieses Schliessen der Natur durch Uebung abzugewöhnen. Hiezu schlägt Arnott vor, dass der Stotternde alle Wörter durch zwischengeschobene Intonationen der Stimme zu einem Ganzen verbinde, so weit der Athem reicht, also z. B. soweitederathemereicht. Diess kann etwas, aber nicht alles leisten, da das Haupthinderniss meist innerhalb der Wörter und in der Mitbewewegung bei gewissen Articulationen liegt. Hätte ich eine Methode für das Heilen des Stotterns anzugeben, so würde ich ausser der Arnott'schen Procedur noch Folgendes anwenden. Ich würde den Stotternden Scripturen zu Leseübungen geben, worin alle ganz stummen Buchstaben *b, d, g* (Gamma), *p, t, k* oder die Explosivae fehlen; diese Scripturen dürften nur Phrasen enthalten, die ausser den Vocalen aus blossen Buchstaben bestehen, welche der begleitenden Intonation fähig sind, also *f, χ, sch, s, r, l, m, n, ng;* ich würde zum Gesetz machen, dass alle diese Buchstaben intonirt, ausgesprochen und sehr lang ausgezogen werden müssen. Dadurch entsteht eine Pronunciation, wobei die Articulation beständig mit Intonation verbunden, die Stimmritze also nie geschlossen ist. Hat sich der Stotternde lange geübt, die Stimmritze ohne Unterbrechung und selbst zwischen den Wörtern nach Arnott's Rath offen zu halten, und hat er sich durch Aussprechen der intonirten summenden Consonanten geübt, bei und hinter jedem Consonanten und Vocal die Stimmritze offen zu behalten, so kann man zu den stummen Consonanten *h* und den Explosivae *b, d, g* (Gamma), *p, t, k* übergehen. Der Stotternde weiss dann schon, worauf es ankommt. Das gewöhnliche Heilen des Stotterns nach der Methode der Mad. Leigh ist ein blindes Herumtappen im Dunkeln, wobei weder der Lehrmeister noch der Schüler wissen, worum es sich handelt.

Es giebt einen gewissen, nicht seltenen Fehler der Sprache, der sich vom Stottern wesentlich unterscheidet. Es ist das Intoniren zwischen den Wörtern, das Einschieben eines mehr oder weniger langen *e, ä, a,* oder der Nasenvocale, oder eigenthümlicher, durch die Gurgel modificirter Stimmlaute, während die Pronunciation der Wörter selbst gut ist; z. B. ich...ä. Es ist wie das Nachklingen eines musikalischen Werkzeuges über die geforderte Dauer. Diese Laute bilden und erleichtern den Uebergang von einem zum andern Wort, und so mögen sie wohl oft entstehen, obgleich sie oft auch bei einer Häsitation der Gedanken eintreten. Zuweilen kömmt diese Unart mit dem Stottern vor, vielleicht weil dadurch das Stottern beim Ansetzen zu den nächsten Wörtern vermieden wird.

Die Bildung reiner Laute setzt das Gehör voraus. Taubge-

bornen ist es ungemein schwer, eine Art von ganz rohen Lauten aussprechen zu lernen. Bei Taubstummen fehlt nur das Gehör ganz oder grösstentheils; ihre Stummheit ist die Folge ihrer Taubheit; durch viele Mühe lassen sich ihnen die Bewegungen zum Articuliren durch sichtbares Vorzeigen anlernen, aber ihre Sprache bleibt immer ein in der menschlichen Gesellschaft unbrauchbares Geheul, weil sie mit dem Gehör den Regulator für die Articulationen entbehren.

Gehör und Sprache können übrigens nicht inniger zusammenhängen, als durch das Gehirn selbst. Man sieht nicht ein, wozu Nervenverbindungen zwischen dem Gehörorgan und Sprachorgan nützen sollten, die Verbindung des N. facialis und lingualis ist sowohl dem Gehör als der Sprache fremd; denn der N. facialis hat nichts mit dem Gehör, der N. lingualis nichts mit der Sprache zu thun. Der Haupt-Sprachnerve ist der N. hypoglossus, von welchem alle Bewegungen der Zunge abhängen; auch der N. facialis kömmt bei den Articulationen, wenigstens der Lippen in Betracht. Beide Nerven sind physiognomische Nerven, in sofern sowohl die Mimik des Gesichtes als die Sprache, jede auf andere Weise unsere inneren Zustände objectiv darstellen. Beiderlei Nerven scheinen von demselben Centraltheil, den Oliven, abhängig zu seyn. Siehe Retzius, Muell. *Arch.* 1836.

E. Accent.

Der Accent ist eine höhere Betonung einzelner Sylben und Wörter.

a. Accent der Wörter.

Jedes Wort hat seinen Accent, wenn es mehrsilbig ist, er ruht im Deutschen meistens, aber nicht immer, auf der Stammsylbe: Lében, ságen, síngen. Bei Lebéndig hat er sich auf die Biegungssylbe geworfen. Viele Menschen betonen die accentuirte Sylbe noch nicht um einen halben Ton höher; einige um mehr als einen halben Ton höher. Dann wird die Sprache singend. Das Gegentheil davon ist die monotone Sprache, wenn jede Sylbe mit derselben Höhe des Tons ausgesprochen wird, z. B. Lébén, ságén. Dieser Mangel an Variation, bei pedantischen langweiligen Menschen ein Ausdruck ihres Naturels, ist unerträglich. Es ist auch die Sprache der Ausrufer.

Bei den alten Sprachen sind der Accent und die Längen der Sylben ganz verschiedene Dinge. In dem Rhythmus des poetischen Vortrags werden die Sylben auf Kosten des Accentes nach den natürlichen Längen gemessen.

In der deutchen Sprache fallen die Accente grösstentheils mit den Längen zusammen. Hier muss Alles als lang gemessen werden, worauf der Accent ruht. Und die in den alten Sprachen längsten Sylben können in unserm rhythmischen Vortrag als kurz gebraucht werden, wenn nur die Sylbe des Accentes lang bleibt. Dabei muss aber das accentuirte Betonen der durch den Accent langen Sylben in dem poetischen Vortrag vermieden werden.

Die neueren romanischen Sprachen besitzen zu wenig natürliche Längen durch Consonanten und haben zu wenig Wortaccent oder Unterschied in der Betonung der einzelnen Sylben der Wörter, um die natürlichen Längen und Kürzen oder accentuirte und nicht accentuirte Sylben mit viel Erfolg als lang und kurz rhythmisch benutzen zu können. Die romanischen Sprachen sind daher nicht wie die deutsche einer antik-rhythmischen Behandlung fähig.

Daher können in den unvollkommenen modernen Rhythmen dieser Sprachen alle Silben indiscriminatim mit wenigen Ausnahmen lang und kurz gebraucht werden, und die Sylben werden nur nach der Zahl gemessen. Nur die entschiedenen Accente mancher Wörter müssen als lang erhalten werden.

Hiedurch dürfen die rhythmischen Längen und Kürzen in dem Vortrag der Poesie auch nicht hervorgehoben werden, weil sie eben oft weder natürliche noch accentuirte sind.

b. Accent der Sätze.

Die accentuirte höhere Betonung der Wörter in den Sätzen drückt die Modalität des Urtheils aus. Beim Fragen, Bejahen, und vielen andern Modi des Urtheils liegt der Accent jedesmal eigenthümlich auf dem Worte, worauf es ankommt; der einfachste, aus 3 Wörtern, Subject, Copula, Prädicat bestehende Satz hat eine verschiedene Bedeutung, je nachdem der Accent auf dem Subject, Prädicat oder der Copula ruht.

c. Accent der Dialecte.

In der Accentuation verschiedener Dialecte drückt sich die natürliche Regsamkeit oder Lässigkeit des Volkes aus. Hier ist der der Accent physiognomisch. Die unnatürliche sich wiederholende Accentuation des Einzelnen, die nicht aus seiner natürlichen Regsamkeit hervorgeht und kein Ausdruck derselben ist, ist geziert und gemacht. In grossen Städten haben nicht die Gebildeten, aber die es seyn wollen, oft eine vom natürlichen Accent des Volks ganz verschiedene Manier des Accentuirens, was man auch hier zuweilen, aber mehr beim weiblichen Geschlechte hört.

Die deutsche Sprache hat keinen allgemeinen durchgreifenden Accent der Sätze, er ist überall verschieden. In anderen Sprachen ist ein gewisser Accent herschend geworden, wie z. B. im Französischen. Auch die Dänen und Schweden haben eine eigenthümliche Art der Accentuation der Sätze, die man auch hört, wenn sie Deutsch sprechen.

Nachträge und Berichtigungen.

Zu P. 19. Z. 13. Ueber die neueren Beobachtungen in Hinsicht der Wimperbewegung siehe den Jahresbericht des Archivs für Physiologie 1836.

P. 108. Z. 8. v. u. Die Bemerkung über den Gepard, Felis jubata, bedarf einer Berichtigung, da nach OWEN's Untersuchung die bisherige Vorstellung von der Abweichung dieses Thiers von einigen anatomischen Eigenschaften des Katzengeschlechtes unrichtig ist.

P. 123. Z. 3. fehlt der Titel der Schrift von W. und E. WEBER: *Mechanik der menschlichen Gehewerkzeuge, mit* 17 *Taf. Gött.* 1836. 8.

P. 142. Z. 19. v. u. lies: Die einfachste Zunge dieser Art ist die der Maultrommel; sie ist ein stählernes Blättchen, das an einem Ende befestigt ist und zwischen zwei stählernen Schenkeln liegt; diess Zungenblättchen wird zwar gewöhnlich, indem die Maultrommel zwischen die Zahnreihen gefasst wird, durch den Finger angeschlagen, aber man kann das Blättchen auch durch Einziehen der Luft in Schwingung versetzen.

P. 170. Z. 8. lies: Wurde in einem kurzen Windrohr gegen das Ende, wo die Zunge, ein Stopfen angebracht, der in der Mitte durchbohrt allein den Luftstrom durchliess, so wurde der Ton dadurch auf die eine oder andere Art verändert; er war meist etwas höher als ohne Stopfen.

P. 180. Z. 10. statt: *Bd. III.* lies: *Uebers. v.* MECKEL. *Bd. IV.* 229.

P. 232. Z. 15. v. u. lies: Das *H* fehlt der italienischen Sprache bis auf einige wenige Ausnahmen, z. B. ho, hai, ha, hanno.

P. 239. Z. 28. streiche: Schmatzen.

Gedruckt bei den Gebr. Unger.

HANDBUCH

der

PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN

für Vorlesungen.

Von

Dr. Johannes Müller,

ordentl. öffentl. Professor der Anatomie und Physiologie an der Königl. Friedrich Wilhelms-Universität und an der Königl. medicin.-chirurg. Militär-Academie in Berlin, Director des Königl. anatom. Museums und anatom. Theaters; Ritter des Rothen Adlerordens 4. Classe; Mitglied der Königl. Academieen der Wissenschaften zu Berlin und zu Stockholm, Correspondent der Kaiserl. Academie der Wissenschaften zu St. Petersburg, der Königl. Academie der Wissenschaften zu Turin, Mitglied der Königl. Soc. d. Wissensch. zu Göttingen und Upsala.

Zweiten Bandes zweite Abtheilung.

Mit Königlich Würtembergischen Privilegien.

Coblenz,
Verlag von J. Hölscher.
1838.

Nachträge und Berichtigungen.

I. Band, dritte Auflage.

Seite 381. wo die Wirkungen des organischen Fasersystems erläutert werden, sind zwei Thesen aufgestellt, dass es entweder mit den Ganglien die unwillkührliche vom Gehirn und Rückenmark unabhängige Bewegung vermittele, oder den chemischen Processen der Absonderung und der Veränderung der Materie diene. Für diese Thesen wurden theils experimentelle, theils anatomische Thatsachen beigebracht, ohne dass ein entschiedenes Uebergewicht der Gründe zur Feststellung einer dieser Ansichten berechtigte. Doch tritt eine Begünstigung der letztern Ansicht in der Darstellung hervor. Zufolge einiger neuern Beobachtungen von Remak wird der Antheil der Ganglien an der unwillkührlichen Bewegung in so weit wahrscheinlicher, als Remak an den auf der Oberfläche des Herzens verlaufenden Aesten der Herznerven, beim Kalb viele kleine mikroskopische Ganglien gefunden hat. Vergl. die im zweiten Bande p. 70. aufgestellte Hypothese. Vielleicht lassen sich beide Ansichten vereinigen.

II. Band.

Seite 310. Z. 15. über den Bau der Augen bei den Spinnen und die Vereinigung der Charactere der zusammengesetzten Augen mit denen der einfachen, siehe Brants *in Tydschrift voor natuurlyke geschiedenis.* 4. 1. *und* 2. *Stück, p.* 135.

— 322. Z. 5. v. u. über Richtungslinien des Sehens vergl. Mile in PogGend. *Ann.* 1837. *N.* 9. *p.* 37.

— 316. Z. 12. v. u. über den Bau der Retina vergl. Valentin *Repert.* 1837. 2.

— 440. Z. 10. v. u. In Beziehung auf die hier angeführten Gründe für die Meinung, dass das Knacken von einer willkührlichen Zusammenziehung des Musculus tensor tympani herrühre, bemerke ich nachträglich, dass mir nach reiflicherer Erwägung jene Gründe zu einem Beweise nicht hinreichend scheinen.

— 441. Z. 4. Der knackende Ton kann ferner mit dem brummenden p. 440. unten beschriebenen zugleich erfolgen, aber auch davon isolirt werden. Bringe ich die Bewegung für beide hervor, und gebe gleich darauf einen summenden Ton der Stimme bei geschlossenem oder wenig geöffnetem Munde an, so hat dieser eine ausserordentliche Resonanz, und es muss in Folge jener Bewegung etwas verändert seyn, wodurch etwas stark resonirt, was vorher schwach oder gar nicht resonirte. Die Resonanz des Tons der eignen Stimme ist so stark, dass es wie Orgelton klingt. Die Bewegung zum Knacken scheint die Resonanz nicht einzuleiten, sondern die zweite Art der Bewegung thut es, denn ich kann die Bewegung des Knackens isoliren, ohne dass die Stimme resonirt. Ich kann ferner die Resonanz auf dem

einen und andern Ohr isolirt eintreten lassen. Eine Erklärung dieser Erscheinung will mir nicht gelingen. Noch ein anderes Resonanzphänomen des Ohrs verdient hier erwähnt zu werden. Dieses kann jeder leicht beobachten, was mit dem vorhererwähnten nicht der Fall ist. Wenn man irgend einen Ton bei zugehaltenem Mund summend singt, und mit den lose eingesteckten Fingern seiner Hand die beiden Ohröffnungen deckt, ohne fest an zu drücken, so hört man seinen Stimmton viel stärker als zuvor, aber mit einer eigenen dumpfen Resonanz in den Ohren, wie Orgelton. Wenn der Finger tiefer und fest eindrückt, so hört die Resonanz auf. Man kann, wenn man den Finger bloss lose in das eine Ohr hält, die Resonanz auch auf diesem einen Ohre hören. Der Klang bei diesem Resonanzphänomen ist ähnlich demjenigen bei dem vorherbeschriebenen, aber sehr viel schwächer.

Seite 473. Z. 15. Die obigen Figuren können auch die Veränderung des Klanges eines Instrumentes durch Resonanz erläutern. Die kleinste Veränderung eines resonirenden Körpers verändert seinen Klang, wahrscheinlich indem die Abwerfung der Wellen verändert wird. Da nun die Kreuzung der primitiven Wellen mit den resonirenden Wellen äusserst mannigfaltig seyn kann, so kann auch der Klang von Resonanz äusserst mannigfaltig seyn.

Berlin, gedruckt bei den Gebrüdern Unger.

Der

speciellen Physiologie

Fünftes Buch.

Von den Sinnen.

Der speciellen Physiologie

Fünftes Buch.

Von den Sinnen.

Nothwendige Vorbegriffe.

Die Sinne unterrichten uns von den Zuständen unseres Körpers durch die eigenthümliche Empfindung der Sinnesnerven, sie unterrichten uns auch von den Eigenschaften und Veränderungen der Natur ausser uns, insofern diese Zustände unserer Sinnesnerven hervorrufen. Die Empfindung ist allen Sinnen gemein, aber der modus der Empfindung ist in den einzelnen verschieden, nämlich Lichtempfindung, Tonempfindung, Geschmack, Geruch, Gefühl. Unter Gefühl versteht man hier, wie in der Folge immer die eigenthümliche Empfindungsart der Gefühlsnerven wie des N. trigeminus, vagus, glossopharyngeus und der Rückenmarksnerven, d. h. die Empfindung des Kitzels, der Wollust, des Schmerzes, der Wärme, Kälte, die Tastgefühle. Die Bezeichnung Empfindung beschränken wir für die Folge immer auf die allen Sinnesnerven gleiche Leitung auf das Sensorium. Das was durch die Sinne zum Bewustsein kommt, sind zunächst nur Eigenschaften und Zustände unserer Nerven, aber die Vorstellung und das Urtheil sind bereit, die durch äussere Ursachen hervorgebrachten Vorgänge in unseren Nerven als Eigenschaften und Veränderungen der Körper ausser uns selbst auszulegen. Bei den Sinnen, bei welchen die Affectionen aus inneren Ursachen seltener sind, wie beim Gesichtssinn und Gehörsinn, ist diese Verwechselung uns so geläufig geworden, dass wir sie erst bemerken, wenn wir darüber nachdenken. Bei dem Gefühlssinn hingegen, der eben so oft aus inneren Ursachen als aus äusseren angeregt, die den Gefühlsnerven eigenthümlichen Empfindungen zum Bewustsein bringt, wird es uns leicht einzusehen, dass das Gefühlte, der Schmerz, die Wollust, ein Zustand unserer Nerven ist und nicht eine Eigenschaft der Dinge, welche sie in unseren Nerven hervorrufen. Diess führt uns zu einigen allgemeinen Grundsätzen, welche der Physiologie der einzelnen Sinne vorausgeschickt werden müssen.

1. Zuerst wird nun diess festzuhalten sein, *dass wir durch äussere Ursachen keine Arten des Empfindens haben können, die wir nicht auch ohne äussere Ursachen durch Empfindung der Zustände unserer Nerven haben.*

In Hinsicht des Gefühlssinnes ist diess sogleich offenbar, das Empfindbare der Gefühlsnerven ist das Kalte und Warme, der Schmerz und die Wollust und unzählige Modificationen von Empfindungen, die weder schmerzhaft noch wollüstig sind, aber dasselbe Gefühlselement wie diese Empfindungen, nur nicht als Extreme enthalten. Alle diese Empfindungen sind uns aus inneren Ursachen, überall wo Gefühlsnerven sind, geläufig; sie können auch von aussen erzeugt werden, aber die äusseren Ursachen sind nicht vermögend, ein Element mehr in die Empfindungen zu bringen, die den Nerven an und für sich aus innerer Reizung zukommen. Das Empfindbare der Gefühlsnerven sind also ihre eigenen Zustände, Qualitäten, durch innere oder äussere Reize zur Erscheinung gebracht. Das Empfindbare des Geruchssinnes kann aber auch ohne riechbare äussere Stoffe zum Bewustsein kommen, wenn der Geruchsnerve die bestimmte Disposition dazu hat. Dergleichen Gerüche aus inneren Ursachen sind nicht häufig, bei Menschen von reizbaren Nerven hat man sie öfter beobachtet, und mit dem Geschmackssinn mag es auch wohl so sein, obgleich hier die Unterscheidung schwer ist, da man nicht wissen kann, ob der Geschmack nicht von einer eigenthümlichen Veränderung des Speichels oder Mundschleims herrührt; jedenfalls entsteht der eckelhafte Geschmack, der Eckel welcher als Empfindung unter die Geschmacksempfindungen gehört, sehr oft aus blosser Nervenstimmung. Das Empfindbare des Gesichtssinnes Farbe, Licht, Dunkel, kömmt auch ohne äussere Ursachen zur Empfindung. Im Zustande der grössten Reizlosigkeit empfindet der Gesichtsnerve nichts als das Dunkel. Bei geschlossenen Augen äussert sich der Zustand der gereizten Empfindung als Helligkeit, Blitzsehen, welches eine blosse Empfindung und kein wirkliches materielles Licht ist und daher auch kein Object beleuchten kann. Es ist Jedermann bekannt, wie leicht man bei geschlossenen Augen die schönsten Farben sieht, besonders des Morgens, wenn die Erregbarkeit des Nerven noch gross ist. Bei Kindern sind diese Erscheinungen häufiger nach dem Erwachen. Die äussere Natur vermag uns daher hier keine Eindrücke zu schaffen, die nicht schon aus innern Ursachen in den Nerven möglich wären, und man sieht, wie ein wegen Verdunkelung der durchsichtigen Medien von Jugend auf Blinder, die innere volle Anschauung des Lichtes und der Farben haben muss, wenn die Nervenhaut und der Sehnerve des Gesichtsorganes nur unversehrt sind. Die Vorstellungen die man sich hier und da von den wunderbar neuen Empfindungen, die ein von Geburt an Blinder durch die Operation erhält, macht, sind übertrieben und unrichtig. Das Element der Gesichtsempfindung, das Empfindbare dieses Sinnes, Licht, Farbe, Dunkel muss diesen Menschen eben so gut wie den andern bekannt sein. Denkt man sich ferner, dass ein Mensch in der einförmigsten Natur geboren werde, die aller Farbenpracht

entblösst wäre und ihm niemals die Eindrücke der Farben von aussen zuführte, so würde sein Sinn nicht ärmer als der jedes Menschen seyn; denn das Licht und die Farben sind ihm eingeboren und bedürfen nur des Reizes, um zur Anschauung zu kommen.

Auch die Gehörempfindungen haben wir von innen so gut als von aussen; denn so oft der Gehörnerve sich in einem gereizten Zustande befindet, tritt das Empfindbare des Gehörnerven, als Klingen, Brausen, Schallen ein. Die Krankheiten dieses Nerven äussern sich durch solche Empfindungen und selbst bei leichteren vorübergehenden Affectionen des Nervensystems zeigt dieser Sinn seinen Antheil an der Verstimmung oft durch Sausen, Klingen, Läuten in den Ohren an.

Aus allem diesen geht deutlich genug hervor, was bewiesen werden sollte, dass durch äussere Einflüsse kein modus der Empfindungen in uns entsteht, der nicht auch ohne äussere Ursachen, aus innern in dem entsprechenden Sinne auftreten kann.

II. Dieselbe innere Ursache ruft in verschiedenen Sinnen verschiedene Empfindungen nach der Natur jedes Sinnes, nämlich das Empfindbare dieses Sinnes hervor.

Eine gleiche innere Ursache, die auf alle Sinnesnerven in derselben Art einwirkt, ist die Anhäufung des Blutes in den Capillargefässen der Sinnesnerven bei der Congestion und Entzündung. Diese gleiche Ursache erregt in der Nervenhaut des Auges die Empfindung der Helligkeit bei geschlossenen Augen und der Blitze, die Empfindung des Sausens und Klingens in dem Gehörnerven, die Empfindung des Schmerzes in den Gefühlsnerven. Ebenso bewirkt auch ein ins Blut gebrachtes Narcoticum in jedem Sinnesnerven die ihm angemessenen Störungen, Flimmern vor den Augen im Sehnerven, Ohrensausen im Gehörnerven, Formicatio in den Gefühlsnerven.

III. Dieselbe äussere Ursache erregt in den verschiedenen Sinnen verschiedene Empfindungen, nach der Natur jedes Sinnes, nämlich das Empfindbare des bestimmten Sinnesnerven.

Der mechanische Einfluss des Schlags, Stosses, Drucks, erregt z. B. im Auge die Empfindung des Lichtes und der Farben. Durch Drücken des Auges ruft man bekanntlich bei geschlossenen Augen die Empfindung eines feurigen Kreises hervor, durch leiseren Druck bewirkt man Empfindung von Farben und kann eine Farbe in die andere umwandeln, Phänomene, womit sich die Jugend oft nach dem Erwachen, wenn es noch dunkel ist, beschäftigt. Auch dieses Licht ist nicht objectiv, sondern blosse gesteigerte Empfindung. Drückt man sich im Dunkeln auch noch so stark ins Auge, so dass die Empfindung eines blitzartigen Scheins entsteht, so kann dieser Schein, weil er blosse Empfindung ist, keine äusseren Gegenstände beleuchten, wie Jeder an sich selbst erfahren kann. Ich habe diese Versuche sehr oft angestellt, nie ist es mir dadurch gelungen, im Dunkeln die nächsten Gegenstände nur zu erkennen oder besser zu erkennen. Man vergleiche die Bemerkungen über den forensischen Fall, wo Jemand durch einen Schlag auf das Auge im Dunkeln einen Räuber erkannt haben

wollte. Muell. *Archiv*. 1834. 140. Eben so wenig sieht ein Anderer, wenn ich mir durch Druck an meinem Auge die Empfindung eines starken Blitzes errege, in meinem Auge die geringste Spur von objectivem Lichte, weil jenes Licht eben bloss eine gesteigerte Empfindung ist

Das sogenannte Leuchten der Augen ist schon oben in den *Prolegomena* besprochen worden. An und für sich hat es a priori nichts gegen sich, dass die Nerven der Thiere leuchten sollten, und da man am Auge die einzige Gelegenheit hat, einen Nerven, nämlich die Retina ohne Verletzung durch die durchsichtigen Medien zu betrachten, so müsste man, falls in den Nerven eine Entwickelung von Lichtmaterie stattfände, das Phänomen hier am besten beobachten können. Würde es sich beobachten lassen, so würde diese Erscheinung noch immer ausser allem Zusammenhange mit dem Lichtsehen aus inneren Ursachen stehen. Aber die Erfahrung bestätigt nicht eine solche objective Lichtentwickelung in den Nerven und in der Nervenhaut des Auges. Die Erfahrungen, welche das Gegentheil beweisen, sind a. a. O. angeführt.

Der mechanische Einfluss erregt aber auch die eigenthümlichen Empfindungen des Gehörnerven; es ist wenigstens zum Sprichwort geworden, Einem Eins geben, dass ihm die Ohren klingen; so sagt man auch, Einem Eins geben, dass ihm die Augen davon funkeln, Einem Eins geben, dass er es fühlt, so dass derselbe Schlag in dem Gehörnerven, Gesichtsnerven, Gefühlsnerven die verschiedenen Empfindungen dieser Sinne hervorruft. Dass man Einem einen Schlag versetzen könnte, dass er es riecht und schmeckt, ist dagegen weder sprichwörtlich, noch thatsächlich; doch entsteht durch mechanische Reizung des Gaumensegels, des Kehldeckels, der Zungenwurzel, der eckelhafte Geschmack. Die Wirkung der Körper beim Schall auf das Gehörorgan, ist eine ganz mechanische. Ein plötzlicher mechanischer Impuls der Luft auf das Gehörorgan erregt die Empfindung des Knalles, wie beim Gesichtsorgan des Lichtes. Ist der mechanische Impuls heftig, so ist es ein Knall, ist er schwach, so ist es ein Geräusch; war die Ursache anhaltend, so wird auch das Geräusch, der Schall anhaltend sein. Unter bestimmten Bedingungen wird aus dem Schalle und dem Geräusche ein bestimmter Ton. Zu einem Ton von vergleichbarem Werthe ist eine schnelle Wiederholung des gleichen Impulses in sehr kurzer Zeit nothwendig. Dasselbe Geräusch, welches anhaltend und ohne regelmässige Unterbrechungen Geräusch bleibt, wird Ton, wenn es regelmässig in kurzer Zeit sehr oft unterbrochen wird. Die Reibung der Zähne eines Rades an einem Holzsplitter an der von Savart erfundenen Maschine, bringt an und für sich als mechanischer auf das Gehörorgan fortgepflanzter Impuls nur ein Geräusch hervor; wird das Rad schnell umgedreht und folgen sich die Geräusche schnell auf einander, so werden sie immer weniger von einander unterschieden und zuletzt sind sie ein bestimmter Ton geworden, dessen Höhe mit der Schnelligkeit des Umlaufs des Rades oder der Stösse zunimmt. Die Schwingungen eines Körpers, welche an und für sich ohne Folge

auf einander bloss oder kaum ein Geräusch bilden würden, werden durch Folge auf einander zum Ton; der Impuls ist auch ein mechanischer. Angenommen, dass die Lichtmaterie durch mechanische Oscillationen auf die Körper wirkt (Undulationstheorie), so haben wir hier wieder ein Beispiel, dass Schwingungen auf verschiedene Sinne verschieden wirken. Sie bewirken im Auge die Lichtempfindung, in andern Sinnen nicht, in den Gefühlsnerven die Empfindung der Wärme.

Der electrische Reiz kann als zweites Beispiel dienen, dass derselbe Reiz in den verschiedenen Sinnesnerven verschiedene Empfindungen hervorruft. Schon ein einfaches Plattenpaar von heterogenen Metallen, mit dem Auge kettenartig verbunden erregt im Dunkeln die Empfindung eines hellen blitzähnlichen Scheins; selbst wenn das Auge ausser dem Strom liegt, wenn es nur nicht zu weit davon entfernt ist, entsteht die Empfindung durch Ableitung eines Theils des Stroms auf das Auge, So z. B. wenn die eine Platte an das Innere eines Augenliedes, die andere an das Innere des Mundes angelegt wird. Stärkere electrische Reize bewirken viel heftigere Lichtempfindungen. Im Gehörorgan, erregt der electrische Reiz die Gehörempfindung. Volta empfand, als sich seine Ohren in der Kette einer Säule von 40 Plattenpaaren befanden, nach der Schliessung ein Zischen und stossweises Geräusch, welches die ganze Zeit der Schliessung fortdauerte. *Philos. transact.* 1800 *p.* 427. Ritter empfand bei Schliessung der Kette einen Ton wie G der eingestrichenen Octave, oder g.

Die Reibungselectricität der Maschine erregt in den Geruchsnerven einen phosphorigen Geruch, die Armirung der Zunge mit heterogenen Metallen erregt einen sauren oder salzigen Geschmack je nach der Lage der Platten, wovon die eine über, die andere unter der Zunge applicirt wird. Die Erklärung dieser Erscheinung aus der blossen Zersetzung der Speichelsalze dürfte schon nach dem bereits von andern Sinnen angeführten nicht hinreichen.

Die Wirkungen der Electricität auf die Gefühlsnerven sind hinwieder weder Lichtempfindung, noch Gehörempfindung, noch Geruchs- noch Geschmacksempfindung, sondern die diesen Nerven eigenen Empfindungen des Stechens, Schlagens u. s. w.

Chemische Einflüsse wirken wahrscheinlich auch verschieden auf die verschiedenen Sinnesnerven. Natürlich hat man darüber nur wenig Erfahrungen; bekannt ist, dass chemische Einflüsse in den Gefühlsnerven der Haut Gefühlseindrücke, wie Brennen, Schmerz, Wärmeempfindung, in dem Geschmacksorgane Geschmacksempfindungen und wenn sie flüchtig, in den Geruchsnerven Geruchsempfindung erregen. Auf die höheren Sinnesnerven können wir auf mehr unschädliche Weise nur durch ins Blut aufgenommene Stoffe chemisch wirken. Auf diese Weise wirken sie auch in jedem Sinnesnerven, den Eigenschaften desselben gemäss. Dahin gehören die Wirkungen der Narcotica welche bekanntlich subjective Gesichts- und Gehörphänomene erzeugen.

IV. Die eigenthümlichen Empfindungen jedes Sinnesnerven können durch mehrere innere und äussere Einflüsse zugleich hervorgerufen werden.

Diess ergiebt sich bereits aus den vorher angeführten Thatsachen, denn die Lichtempfindung im Auge wird erregt:

1. durch Schwingungen oder Ausflüsse, die man von ihrer Wirkung auf das Auge Licht nennt, obgleich sie noch viele andere, auch chemische Wirkungen hervorbringen, ja selbst die organischen Wirkungen der Pflanzen unterhalten.

2. durch mechanische Einflüsse, wie Stoss, Schlag,

3. durch die Electricität.

4. durch chemische Einflüsse wie die ins Blut aufgenommenen Narcotica, Digitalis u. a. welche subjective Sinneserscheinungen, Flimmern vor den Augen u. dgl. hervorbringen.

5. durch den Reiz des Blutes in der Congestion.

Die Gehörempfindung im Gehörnerven wird erregt:

1. durch mechanische Einflüsse, Schwingungen der Körper, welche durch Medien, die der Fortpflanzung derselben fähig sind, dem Gehörorgane mitgetheilt werden.

2. durch die Electricität.

3. durch chemische Einflüsse, die ins Blut aufgenommen werden, Narcotica (alterantia nervina)

4. durch den Reiz des Blutes.

Die Geruchsempfindung der Geruchsnerven wird erregt:

1. durch chemische Einflüsse flüchtiger Art, Riechstoffe.

2. durch die Electricität.

Die Geschmacksempfindungen werden erregt:

1. durch chemische Einflüsse, die entweder von aussen, oder vom Blute aus auf die Geschmacksnerven wirken. Hunde sollen nach Magendie auch die ihnen ins Blut injicirte Milch schmecken, und mit der Zunge zu lecken anfangen.

2. durch die Elektricität.

3. durch mechanische Einflüsse. Hieher gehört der eekelhafte Geschmack von Reizung des Gaumensegels, des Kehldeckels und der Zungenwurzel.

Die Gefühlsempfindungen der Gefühlsnerven werden erregt:

1. durch mechanische Einflüsse, Schallschwingungen, Berührung jeder Art.

2. durch chemische Einflüsse.

3. durch die Wärme.

4. durch die Electricität.

5. durch den Reiz des Blutes.

V. Die Sinnesempfindung ist nicht die Leitung einer Qualität oder eines Zustandes der äusseren Körper zum Bewusstsein, sondern die Leitung einer Qualität, eines Zustandes eines Sinnesnerven zum Bewusstsein, veranlasst durch eine äussere Ursache, und diese Qualitäten sind in den verschiedenen Sinnesnerven verschieden, die Sinnesenergieen.

Die Empfänglichkeit der verschiedenen Sinnesnerven für bestimmte Einflüsse, wie des Gesichtsnerven für das Licht, des Gehörnerven für die Schwingungen u. s. w. erklärte man sich sonst aus einer specifischen Reizbarkeit dieser Nerven. Diese reicht aber offenbar zur Erklärung der Facta nicht hin. Allerdings besitzen die Sinnesnerven eine specifische Reizbarkeit für gewisse

Einflüsse; denn manche Reize, die auf ein Sinnesorgan heftig einwirken, wirken auf ein anderes wenig oder gar nicht, z. B. das Licht, oder so unendlich schnelle Schwingungen, wie die des Lichtes nur auf die Sehnerven und die Gefühlsnerven, langsamere Schwingungen nur auf den Gehörnerven und die Gefühlsnerven, aber nicht auf den Gesichtsnerven, die Riechstoffe nur auf den Geruchsnerven u. s. w. Die äusseren Reize müssen also dem Sinnesorgan homogen seyn; so ist das Licht der homogene Reiz des Sehnerven, Schwingungen von der geringen Geschwindigkeit, welche auf den Gehörnerven wirken, sind jenem heterogen oder gleichgültig; denn man erhält bei der Berührung des Auges mit einer schwingenden Stimmgabel nur eine Gefühlsempfindung der Conjunctiva, aber keine Lichtempfindung. Indessen haben wir gesehen, dass bestimmte gleiche Reize in jedem Sinnesorgane verschiedene Empfindungen hervorrufen, wie die Electricität; diese ist allen Sinnesnerven homogen, und doch sind die Empfindungen in allen verschieden. Und ebenso ist es mit mehrern andern Reizen, wie den chemischen und mechanischen. Die specifische Reizbarkeit der Sinnesnerven reicht also zur Erklärung der Facta nicht hin, und wir sind genöthigt, jedem Sinnesnerven bestimmte Energieen im Sinne des Aristoteles zuzuschreiben, welche seine vitalen Qualitäten sind, wie die Zusammenziehung die vitale Eigenschaft der Muskel ist. Diese Thatsache wurde in der neuern Zeit durch die Bearbeitung der sogenannten subjectiven Sinneserscheinungen durch Elliot, Darwin, Ritter, Goethe, Purkinje, Hjort mehr und mehr erkannt. So nennt man nämlich jetzt diejenigen Sinneserscheinungen, welche nicht durch den gewöhnlichen homogenen Reiz eines Sinnesnerven, sondern andere ihm gewöhnlich fremde hervorgebracht werden. Lange haben diese wichtigen Erscheinungen unter dem Namen der Sinnestäuschungen figurirt und sind unter einem falschen Gesichtspunkte missachtet worden, dagegen sie als eigentliche Sinneswahrheiten und Grundphänomene bei der Zergliederung der Sinne studirt werden müssen.

Die Empfindung des Tons ist daher die eigenthümliche Energie des Hörnerven, die des Lichts und der Farben die Energie des Gesichtsnerven u. s. w. Eine nähere Zergliederung dessen, was bei einer Empfindung geschieht, müsste schon auf anderm Wege zu dieser Wahrheit führen. Die Empfindungen der Wärme und Kälte z. B, bringen uns die Existenz des imponderablen Wärmestoffs oder eigenthümlicher Schwingungen in der Nähe unserer Gefühlsnerven in einer Empfindung zur Anschauung. Aber was die Wärme ist, kann durch etwas, was doch zunächst Zustand der Gefühlsnerven ist, nicht aufgeklärt und muss durch das Studium der physikalischen Eigenschaften dieses Agens erkannt werden, wohin die Gesetze seiner Verbreitung, Entwickelung aus dem gebundenen Zustande, seine Fähigkeit sich zu binden, sein Vermögen die Körper auszudehnen u. s. w. gehören. Alles diess erklärt aber das Eigenthümliche der Wärmeempfindung als Zustandes der Nerven nicht. Das reine Factum ohne alle Erklärung ist nur diess, dass die Wärme als Empfindung dann entsteht, wenn der Wärmestoff auf einen Gefühlsnerven wirkt, und dass

Kälte als Empfindung entsteht, wenn dieser Stoff einem Gefühlsnerven entzogen wird.

Es ist ebenso mit dem Tone. Das reine Factum ist diess, dass wenn eine gewisse Zahl von Stössen oder Schwingungen dem Gehörnerven mitgetheilt wird, der Ton als Empfindung entsteht; aber der Ton als Empfindung ist himmelweit von einer Anzahl von Schwingungen verschieden. Dieselbe Zahl der Schwingungen einer Stimmgabel, die dem Gehörnerven jene Empfindung mittheilt, wird von dem Gefühlsnerven als Kitzel empfunden. Es muss also zu den Schwingungen noch etwas ganz Anderes hinzukommen, wenn ein Ton empfunden werden soll, und diess Erforderliche liegt nur im Gehörnerven.

Mit dem Gesicht verhält es sich nicht anders; die verschieden starke Wirkung des imponderabeln Agens, des Lichtes, bedingt eine Ungleichheit der Empfindung an verschiedenen Stellen der Nervenhaut des Auges, geschehe die Einwirkung durch Stösse nach der Undulationstheorie, oder durch Strömung mit unendlicher Geschwindigkeit nach der Emanationstheorie. Erst dadurch, dass die Nervenhaut die schwach afficirten Stellen als mässig hell, die heftig afficirten als licht, die ruhenden oder gar nicht afficirten Stellen als dunkel oder schattig empfindet, entsteht ein bestimmtes Lichtbild je nach der Vertheilung der afficirten Stellen auf der Nervenhaut. Auch die Farbe ist dem Sehnerven selbst immanent und entsteht, wenn sie durch das äussere Licht hervorgerufen wird, durch die im Grunde noch unbekannte Eigenthümlichkeit der sogenannten farbigen Strahlen oder der zum Farbeneindruck nöthigen Oscillationen. Die Geschmacksnerven und Geruchsnerven sind unendlich von aussen bestimmbar, aber jeder Geschmack hängt von einem bestimmten Zustande des Nerven ab, der von aussen bedingt wird, und es ist lächerlich zu sagen: die Eigenschaft des Sauren werde durch den Geschmacknerven geleitet; denn auch auf die Gefühlsnerven wirkt die Säure, aber es entsteht kein Geschmack.

Das Wesen dieser Zustände der Nerven, vermöge welcher sie Licht sehen, Ton empfinden, die wesentliche Natur des Tons als Eigenschaft des Hörnerven, des Lichts als Eigenschaft des Sehnerven, des Geschmacks, Geruchs, Gefühls bleibt wie die letzten Ursachen in der Naturlehre ewig unbekannt. Ueber die Empfindung des Blauen lässt sich nicht weiter räsoniren; sie ist eine Thatsache, wie viele andere, die die Grenze unseres Witzes bezeichnen. Die eigenthümlichen Empfindungen der verschiedenen Sinne bei gleicher Ursache aus der verschiedenen Schnelligkeit der Schwingungen des Nervenprincips zum Sensorium erklären wollen, würde auch nicht weiter führen, und wenn eine solche Behauptung statthaft wäre, so müsste sie zunächst zur Erklärung der verschiedenen Empfindungen im Umfange eines bestimmten Sinnes angewandt werden, warum z. B. das Sensorium die Empfindung des Blauen, Rothen, Gelben erhält, warum das Sensorium die Empfindung eines hohen oder tiefen Tons, die Empfindung des Schmerzes oder der Wollust, der Wärme oder Kälte, die Empfindung des Bittern, Süssen, Sauren erhält. In diesem Sinne allein ist die

Erklärung beachtenswerth; die Ursachen verschieden hoher Töne sind wenigstens schon von aussen her verschieden schnelle Schwingungen der tönenden Körper, und eine Berührung der Gefühlsnerven der Haut, die einmal bewirkt, eine einfache Tastempfindung hervorruft, erregt schnell als Schwingung eines tönenden Körpers wiederholt, die Empfindung des Kitzels, so dass vielleicht das specifische der Wollustempfindung auch wenn sie unabhängig von aussen durch innere Ursachen entsteht, durch die Schnelligkeit der Schwingungen des Nervenprincips in den Gefühlsnerven bedingt wird.

Eine dunkle Kenntniss der Gesichtsempfindungen aus innern Ursachen mag wohl die Ursache gewesen seyn, dass auch die alten Naturphilosophen eine Ahnung von dem wesentlichen Antheil des Auges an dem Empfinden von Licht und Farbe gehabt haben. Diese ist in der Lehre vom Sehen im Timaeus des Platon nicht zu verkennen. Es heisst dort: „Unter allen Organen bildeten die Götter die strahlenden Augen zuerst, um des Grundes Willen. Ein Organ des Feuers, das nicht brennt, sondern ein mildes Licht giebt, jedem Tage angemessen, hatten sie bei dieser Bildung zur Absicht. Wenn des Auges Licht um den Ausfluss des Gesichtes ist und Gleiches zu Gleichem ausströmend sich vereint, so entwirft sich in der Richtung der Augen ein Körper, wo immer das aus dem Innern ausströmende Licht mit dem äussern zusammentrifft. Wenn aber das verwandte Feuer des Tages in die Nacht vergeht, so ist auch das innere Licht verhalten; denn in das Ungleichartige ausströmend verändert es sich und erlischt, indem es durch keine Verwandtschaft der Luft sich anfügen und mit ihr Eins werden kann, da sie selbst kein Feuer hat."

Richtigere Ansichten und in mehr wissenschaftlicher Form vorgetragen finden sich in Aristoteles Schrift über den Traum, wovon ich in meiner Schrift über die phantastischen Gesichtserscheinungen eine Uebersetzung gegeben habe. Die Erklärung der Phantasmen als innerer Sinneswirkungen ist ganz dem heutigen Standpuncte der Wissenschaft angemessen. Er hat sogar schon die auch von Spinoza gemachte Beobachtung dass sich die im Schlafe erschienenen Bilder beim Erwachen in den Sinnesorganen ertappen lassen (3. *Cap.*), und die subjectiven Farbenumwandlungen des Blendungsbildes der Sonne im Auge sind ihm wohlbekannt (2. *Cap.*).

Bei dem ausgebildeten Zustande der verschiedenen Zweige der Naturwissenschaften, welche selbstständig und zum Theil unabhängig von einander bearbeitet werden, bleibt es immer eine schöne Aufgabe der Philosophie, die Erklärungen der Grundphänomene zu prüfen, besonders da, wo die Gebiete in einander greifen, wie bei den Wirkungen des Lichtes auf organische Wesen. Aber diese Arbeit ist ungemein schwierig, weil sie ohne näheren Antheil an der Zergliederung der Thatsachen nicht gut zu lösen ist. In neueren Zeiten hat die Philosophie auf diesem der Phy-

sik und Physiologie zugleich angehörigen Felde nur wenig gelichtet. Die Manifestation der Gegenstände an einander kann die Natur des Lichtes nicht ausdrücken und dass es für uns manifestirend ist, hängt nur von der Gegenwart eines belebten Sehorganes ab. In dieser Weise sind hinwieder viele andere Agentien manifestirend. Und wäre ein feines organisches Reagens für die Electricität wie für das Licht da, so würde die Electricität ebenso offenbarend für die Existenz der körperlichen Welt seyn, als das Licht ist.

Aus dem Vorherigen ergiebt sich deutlich genug, dass die Sinnesnerven keine blossen Leiter der Eigenschaften der Körper zu unserm Sensorium sind, und dass wir von den Gegenständen ausser uns nur durch die Eigenschaften unserer Nerven und ihre Fähigkeit von äusseren Gegenständen stärker oder geringer verändert zu werden, unterrichtet werden. Selbst die Tastempfindung unserer Hand bringt nicht zunächst den Zustand der Oberflächen des betasteten Körpes, sondern die durch das Tasten erregten Stellen unsers Körpers zur Anschauung. Vorstellung und Urtheil machen aus der einfachen Empfindung etwas ganz Anderes. Auf der verschiedenen Art, wie Körper die Zustände unserer Nerven erregen, beruht die Sicherheit der sinnlichen Unterscheidung. Hier lässt sich aber auch einsehen, warum die sinnliche Erkenntniss uns nie die Natur und das Wesen der sinnlichen Welt aufschliessen kann. Wir empfinden beständig uns selbst in dem Umgange mit der sinnlichen Aussenwelt und machen uns damit Vorstellungen von der Beschaffenheit der äusseren Gegenstände, welche eine relative Richtigkeit haben können, aber niemals die Natur der Körper selbst zu jener unmittelbaren Anschauung bringen, zu welcher die Zustände unserer Körpertheile im Sensorium gelangen.

VI. Ein Sinnesnerve scheint nur einer bestimmten Art der Empfindung und nicht derjenigen der übrigen Sinnesorgane fähig zu seyn, und kann daher auch keine Vertretung eines Sinnesnerven durch einen andern davon verschiedenen stattfinden.

In jedem Sinnesorgane kann die Empfindung bis zum Angenehmen und Unangenehmen gesteigert werden, ohne dass die Natur der Empfindung selbst verändert wird und in die Empfindung eines andern Sinnesorgans übergeht. Das Sehorgan empfindet das Unangenehme als Blendung, das Angenehme als Farbenharmonie; das Gehörorgan hat das Angenehme und Unangenehme in den Harmonien und Disharmonien; das Geschmacksorgan und Geruchsorgan haben ihre angenehmen und unangenehmen Gerüche und Geschmäcke, das Gefühlsorgan die Wollust und den Schmerz. Es scheint daher, dass auch in der heftigen Leidenschaft des Sinnesorganes die Empfindung ihre specifische Energie behält. Dass die Empfindung des Lichtes, des Tons, des Geschmacks, Geruchs nur in den entsprechenden Nerven empfunden werde, ist bekannt, weniger deutlich ist diess vom Gefühl, und es fragt sich namentlich, ob die Empfindung des Schmerzes nicht in den höheren Sinnesnerven möglich sei, und ob z. B. eine starke Verletzung des Sehnerven nur als heftige Lichtempfindung, nicht als Schmerz em-

pfunden werden könne. Die Untersuchung dieser Frage hat ihre grossen Schwierigkeiten. In den Sinnesnerven verbreiten sich ausser den eigentlichen specifischen Sinnesnerven auch noch Gefühlsnerven; die Nase hat ausser den Geruchsnerven auch noch die Gefühlsnerven vom zweiten Ast des Trigeminus; in der Zunge besteht das Gefühl neben dem Geschmack, und das eine kann verloren sein, während das andere fortbesteht, und ebenso ist es mit dem Auge und Gehörorgane. Zur Untersuchung jener Frage ist es nöthig, Versuche an dem isolirten Sinnesnerven selbst anzustellen. Was man jetzt in dieser Weise erfahren, spricht dafür, dass die Sinnesnerven keiner andern Art der Empfindung als der ihnen eigenthümlichen und nicht der Gefühlsempfindung fähig sind. Die entblössten Geruchsnerven des Hundes zeigen sich beim Anstechen ganz gefühllos, wie Magendie beobachtete, auch die Markhaut des Auges und der Sehnerve waren in Magendie's Versuchen (*Journ. de physiol. IV.* 180.) keines Schmerzgefühls bei mechanischen Verletzungen fähig. Dagegen hat man schon beobachtet, dass die Durchschneidung des Sehnerven bei Exstirpation des Auges, für den Kranken mit dem Sehen von grossen Lichtmassen verbunden war, wie mir mein Freund Tourtual aus eigener Erfahrung bei Anstellung dieser Operation mitgetheilt hat. Schon die lichten Kreise, die man bei plötzlicher Verwendung der Augen nach einer Seite, wegen Zerrung der Sehnerven sieht, gehören hieher. Oft ist in den Fällen wo die Exstirpation des Auges indicirt ist, der Sehnerve selbst so degenerirt, dass er keiner Empfindungen mehr fähig ist, daher darf die Erscheinung nicht in allen Fällen der Exstirpation des Auges erwartet werden; sie fehlte auch in 2 hiesigen Fällen von Exstirpation des Auges. Uebrigens ist es mir nicht bekannt, dass die Durchschneidung des Sehnerven bei der Exstirpation des Auges schmerzhafter, als der übrige Theil der Operation wäre, während doch die Durchschneidung eines so starken Gefühlsnerven, wie der Sehnerve, sonst mit den furchtbarsten Schmerzen verbunden ist, und bei den Thieren von dem heftigsten plötzlichen Geschrei begleitet wird.

Allerdings kann ein Sinnesnerve, gereizt durch Reflexion unter Mitwirkung des Gehirns, auch wieder andere Empfindungen hervorrufen, wie das Hören gewisser Töne z. B. vom Ritzen im Glas, die Empfindung von Rieseln in den Gefühlsnerven hervorbringt. Und so mag wohl auch eine blendende Lichtempfindung im Sehnerven einen reflectirten unangenehmen Eindruck auf die Gefühlsnerven der Augenhöhle und des Auges hervorrufen. So können wenigstens die unangenehmen Empfindungen im Augapfel nach dem Sehen in sehr helles Licht erklärt werden.

In Hinsicht des Riechens hat sich Magendie offenbar getäuscht, wenn er nach Zerstörung der Geruchsnerven den Nasalästen des Nervus trigeminus Geruch zuschrieb, da die angewandten Reize, z. B. Essigsäure, flüssiges Ammonium, Lavendelöhl, Dippelsöl in die Nase gebracht, sehr starke Erreger der Gefühlsempfindung der Schleimhaut der Nase sind. Eschricht *in* Magendie *Journ. de physiol. T. VI. p.* 339. In allen genau beobachteten Fällen von Fehlen der Geruchsnerven hat auch der wahre Geruch aufgehört. Eschricht *a. a. O.*

Eine Einwirkung der Gesichtsnerven auf die anderen Sinnesnerven in den Grenzen, wie überhaupt ein Nerve auf den andern durch Vermittelung des Gehirns einwirken kann, wird Niemand bestreiten können; welche ausgebreitete Affection bringt nicht eine Neuralgie, welche mannigfaltige Störungen der Sinnesorgane ein nervöser Zustand hervor, der in den Unterleibsorganen seine Quelle hat. Wie gewöhnlich ist hier das schlechte Sehen, das Ohrenbrausen u. a., obgleich allerdings Vieles der Art, was man in den Unterleib verlegt, einen viel tiefern Sitz in der Irritation des Rückenmarks hat.

Von diesem Gesichtspuncte aus muss auch die Einwirkung vom Nervus frontalis auf den Sehnerven und jene nach Verletzungen des Nervus frontalis beobachtete Amaurose betrachtet werden; aber vielleicht dürfte diese in neueren Zeiten meines Wissens selten beobachtete Affection, noch richtiger aus der Erschütterung des Auges und Sehnerven durch die Contusion der Stirn erklärt werden.

Die anatomischen Beobachtungen für das Vertreten eines Sinnesnerven durch einen andern, haben eine sehr unsichere Grundlage. Der Sehnerve des Auges des Maulwurfes sollte der Augenhöhlenzweig des Trigeminus seyn; Koch und Henle haben indess gezeigt, dass der Maulwurf einen ungemein feinen, der Grösse seines Auges entsprechenden Sehnerven besitzt und ebenso mag es beim Proteus anguinus seyn. Die Unabhängigkeit des N. acusticus der Fische vom N. trigeminus haben Treviranus und E. H. Weber gezeigt. Selbst wenn in einer Nervenscheide Fasern verschiedener Function eingeschlossen sind, beweist diess keineswegs etwas für die Leitung verschiedener Empfindungen durch einerlei Leiter. So kann man die Thatsache auslegen, dass es bei den Fischen einen Nervus accessorius nervi acustici giebt, der bald selbsständig vom Gehirn, bald vom Trigeminus, bald vom Vagus abgeht (E. H. Weber *de aure et auditu. Lip.* 1820. *p.* 33. 101.) und dass nach Treviranus (*Zeitschr. f. Physiol. V.*) bei einigen Vögeln der nervus vestibuli ein Ast des facialis seyn soll. Bei den Delphinen sind zwar Rudimente der Geruchsnerven nach Blainville, Mayer Treviranus (*Biologie* 5. 342) vorhanden und es wäre schon deswegen nicht nöthig andere Nerven für den Geruch dieser Thiere in Anspruch zu nehmen, indess ist es überhaupt unbekannt, ob diese Thiere riechen.

Von wahrer Vertretung eines Sinnesnerven durch einen specifisch davon verschiedenen, ist uns unter den beglaubigten physiologischen Thatsachen keine bekannt. Die Ausbildung des Gefühls in der Weise des Gefühls bei Blinden wird man heut zu Tage nicht Sehen durch die Finger nennen; das Sehen mit den Fingern, mit der Herzgrube, bei sogenannten Magnetischen scheint ein pures Mährchen, wenn es nacherzählt wird, und Betrug, wo es geschehen soll. Die Gefühlsnerven sind keiner andern Empfindung als der Gefühlsempfindung fähig. Daher ist auch kein Hören als durch die Gehörnerven möglich; was die Gefühlsnerven von den Schwingungen der Körper empfinden, sind blosse Gefühle der Bebungen und nichts dem Ton Aehnliches. Die Beispiele

sind zwar heut zu Tage nicht selten, dass man die verschiedene Art, wie die Schwingungen der Körper auf das Gehör und Gefühl wirken, miteinander verwechselt. Ohne das lebendige Ohr giebt es in der Welt keinen Ton, sondern nur Schwingungen, ohne das lebendige Auge in der Welt kein Hell, keine Farbe, kein Dunkel, sondern nur die Oscillationen der imponderabeln Materie des Lichtes und ihren Mangel.

VII. Ob die Ursachen der verschiedenen Energieen der Sinnesnerven in ihnen selbst liegen, oder in Hirn- und Rückenmarkstheilen, zu welchen sie hingehen, ist unbekannt, aber es ist gewiss, dass die Centraltheile der Sinnesnerven im Gehirn, unabhängig von den Nervenleitern, der bestimmten Sinnesempfindungen fähig sind.

Die specifische Reizbarkeit der Sinnesnerven für besondere Reize muss wohl in ihnen selbst liegen, so z. B. dass Schwingungen von der Schnelligkeit oder Langsamkeit, wie sie hörbar sind, nur auf den Gehörsinn und Gefühlssinn wirken, dass rein mechanische Einflüsse auf die Geschmacksnerven fast gar nicht zur Erregung des Geschmackes wirken u. dgl. Aber die eigenthümliche Art der Reaction nach der Erregung eines Sinnesnerven kann auf doppelte Art stattfinden, entweder dass das Sensorium an und für sich gleich verschiedene Qualitäten von den Nerven aus erhält, oder dass an und für sich ähnliche Schwingungen in den Nerven andere Qualitäten in dem Sensorium zur Perception bringen, je nach den Eigenschaften der Organtheile des Sensoriums, mit welchen die verschiedenen Sinnesnerven in Verbindung stehen. Diese Frage halten wir vor der Hand für unauflöslich, sie hängt mit einer andern zusammen, ob es einen qualitativen Unterschied der sensoriellen, motorischen, organischen Nervenfasern giebt, ob sie sich bloss durch die bestimmte Art der Strömung und Oscillation des Nervenprincips in den verschiedenen Leitern unterscheiden, oder ob die Verschiedenheiten ihrer Wirkung bloss durch die Theile entstehen, zu welchen sie hingehen. Was sich vorläufig hierüber besprechen lässt, ist im 3. Buch mitgetheilt worden.

So viel ist aber gewiss, dass gewisse Centraltheile des Gehirns jedenfalls an den eigenthümlichen Energieen der Sinne participiren; denn Druck auf das Gehirn bewirkt auch Lichtempfindung, wie mehrmals schon gesehen wurde. Nach vollständiger Amaurose der Nervenhaut sind noch leuchtende Phantasmen aus innern Ursachen möglich. Siehe die Beispiele in meiner Schrift *über die phantastischen Gesichtserscheinungen.* Cobl. 1826. Alexander v. Humboldt galvanisirte einen Mann, dem das Auge ausgelaufen war, er sah Lichterscheinungen auf der blinden Seite. Die gereizte Muskel und Nervenfaser T. II. 444. Lincke (*de fungo medullari Lips.* 1834.) erzählt einen Fall, wo bei einem Kranken einen Tag nach der Exstirpation eines fungösen bulbus oculi allerlei subjective Lichterscheinungen entstanden, die ihn so quälten, dass er auf den Gedanken kam, als sähe er diess alles mit wirklichen Augen (wie die Gefühle der Amputirten). Indem er das gesunde Auge schloss, sah er verschiedene Bilder vor seiner leeren Augenhöhle umherschweifen, als Lichter, Feuerkreise, viele tanzende Menschen. Dieser Zufall dauerte einige Tage.

So giebt es auch zuweilen Gefühle in den Gliedern, heftige Schmerzen bei Menschen, deren Fähigkeit der Empfindung für äussere Eindrücke vollkommen aufgehoben ist. Siehe die Nervenphysik. Es ist wahrscheinlich, dass hier auch die Centralorgane die Ursache der Empfindungen sind, und da die eigenthümlichen Sinnesenergieen gewissen Theilen des Sensoriums zukommen, so kann die Frage also nur die seyn, ob die Leiter für die äussern Eindrücke, die Nerven an diesen Eigenschaften participiren oder nicht. Diese Frage kann für jetzt nicht beantwortet werden; denn die Thatsachen lassen sich gleich gut auf die eine und andere Art erklären. Dass aus innern Ursachen oft Gefühle entstehen und nach der Peripherie verbreitet werden, kann für den Antheil der Nerven selbst an den bestimmten Sinnesenergieen nicht angeführt werden, da auch die Affectionen der Centraltheile des Nervensystems oft nach aussen hin versetzt werden.

VIII. Die Sinnesnerven empfinden zwar zunächst nur ihre eigenen Zustände, oder das Sensorium empfindet die Zustände der Sinnesnerven; aber dadurch dass die Sinnesnerven als Körper die Eigenschaften anderer Körper theilen, dass sie im Raume ausgedehnt sind, dass ihnen eine Erzitterung mitgetheilt werden kann und dass sie chemisch, durch die Wärme, und die Electricität verändert werden können, zeigen sie bei ihrer Veränderung durch äussere Ursachen, dem Sensorium ausser ihrem Zustande auch Eigenschaften und Veränderungen der Aussenwelt an, in jedem Sinne verschieden nach dessen Qualitäten oder Sinnesenergieen.

Qualitäten welche den Sinnesnerven mehr durch den Conflict mit dem Sinnesorgan als Empfindungen entstehen, sind die Empfindung des Lichts, der Farbe, des Tons, des Bittern, Süssen, des Gestanks, Wohlgeruchs, des Schmerzes, der Wollust, des Kalten, Warmen; Eigenschaften welche ganz von aussen bestimmt werden können, sind die Ausdehnung, die fortschreitende, die zitternde Bewegung, die chemische Veränderung.

Zur Mittheilung der Ausdehnung im Raume an das Sensorium sind nicht alle Sinne gleich gut geschickt. Der Gesichtsnerve, der Gefühlsnerve zeigen die Ausdehnung im Raume an, weil sie einer genauen Empfindung ihrer eigenen Ausbreitung fähig sind. In den Geschmacksnerven ist diese Empfindung am undeutlichsten, aber doch vorhanden; durch sie wird die Ausbreitung eines süssen, bittern eckelhaften Geschmacks auf der Zunge am Gaumen und im Rachen bestimmt. In dem Gefühlssinn und Gesichtssinn hat die Unterscheidung des Räumlichen die grösste Schärfe. Die Nervenhaut des Sehnerven hat einen zu dieser Perception sehr geeigneten Bau; denn die Enden der Nervenfasern in der retina sind nach Treviranus Entdeckung so gestellt, dass sie zuletzt senkrecht in der Dicke der Nervenhaut sich aufrichten und die papillenförmigen dicht nebeneinander stehenden Enden eine pflasterförmig zusammengesetzte Membran bilden. Von der Zahl dieser Enden hängt die Schärfe der Unterscheidung des Räumlichen durch den Gesichtssinn ab, denn jede Faser repräsentirt ein grösseres oder kleineres Feldchen der sichtbaren Welt in einem gemeinsam einfachen Eindruck, welchen diese Faser dem

Sensorium mittheilt. Die Unterscheidung des Räumlichen durch den Gefühlssinn ist zwar viel mehr verbreitet als beim Gesichtssinn, ist aber viel weniger genau, und grössere Theile der Körperoberfläche oder der Haut werden oft nur durch wenige Nervenfasern im Sensorium repräsentirt; daher oft an manchen Stellen zwei von einander entfernte afficirte Punkte der Haut nur als einer empfunden werden, wie E. H. Weber gezeigt hat. Obgleich der Gesichtssinn, der Gefühlssinn und Geschmackssinn zugleich der Empfindung des Räumlichen fähig sind, so ist die Qualität des räumlich Empfundenen in jedem dieser Sinne nach den Qualitäten der Nerven verschieden, in dem einen Falle ein Bild, dessen Qualität das Licht ist, in dem andern eine Empfindung des Räumlichen, deren Qualität alle Modificationen des Gefühls zwischen Schmerz, Kälte, Wärme, Wollust seyn können, im dritten Falle eine Empfindung des Räumlichen mit Geschmack.

Die äussere Ursache, welche in dem Sinne die Empfindung mit räumlicher Ausdehnung erregt, kann verschieden seyn. Am Sehorgan ist es das äussere Licht, aber auch der Stoss eines Körpers an das Auge, welcher eine Lichtempfindung im Auge hervorruft, kann die Ursache seyn. Wird nämlich nur ein bestimmter Theil der Nervenhaut gedrückt, so entsteht auch nur ein dieser Stelle entsprechendes lichtes Feld, welches eine bestimmte Stelle im Sehfelde einnimmt. Selbst die Electricität kann räumliche Bilder von bestimmter Form im Auge bedingen, wie feurige Linien, deren Lage nach der Lage der Pole verschieden ist, worauf wir später zurückkommen werden. Am Gefühlsorgane erregt das Licht zwar auch, je nach der Ausdehnung der von der Sonne beleuchteten Theile der Haut, die Empfindung der erwärmten Theile in räumlicher Ausdehnung. Aber in der Regel sind die Eindrücke, welche uns von den Körpern ausser uns durch das Gefühlsorgan unterrichten, mechanische Berührung, Reibung, Stoss, Druck oder Mittheilung von Schwingungen der Körper, die wir als Bebung empfinden. Durch das Gefühlsorgan erhalten wir in Folge der mechanischen Eindrücke, die ersten und wichtigsten Aufschlüsse über die Form und Schwere der Körper, wovon das Urtheil für die Erklärung der Anschauungen der übrigen Sinne bald Gebrauch macht.

Die Durchdringung ganzer Gliedmassen, ja der meisten Theile unseres Körpers durch Gefühlsnerven, macht es dem Gefühlssinn möglich, die Raumausdehnung unseres eigenen Körpers in allen Dimensionen zu unterscheiden; denn jeder Punkt, in welchem eine Nervenfaser endet, wird im Sensorium als Raumtheilchen repräsentirt. Auch bei dem Conflict unseres Körpers mit andern kann, wenn der Stoss stark genug ist, die Empfindung bis zu einer gewissen Tiefe unseres Körpers erregt werden und es entsteht die Empfindung der Contusion in allen Dimensionen des Cubus. Gewöhnlich bringen aber die drei Sinne, welche die räumliche Ausdehnung der Körper anzeigen, nur Flächen zur Perception, soweit die Flächen der nervenreichen Theile bei dem Conflict afficirt werden. Der Gefühlssinn hat jedoch auch hier vor dem Gesichtssinn das voraus, dass die tastenden Theile in meh-

reren Richtungen um einen Körper sich herumlegen können, und obgleich die Empfindung hierbei an und für sich die einer Ausdehnung in Flächen, nämlich die der Oberflächen unsers Körpers, welche den Oberflächen des äussern Körpers entsprechen, bleibt, so ergänzt die Vorstellung aus den zum Umfassen nöthigen Bewegungen, die Empfindung der Flächen zur Anschauung eines Körpers mit cubischem Inhalte.

Der Gesichtssinn ist in dieser Hinsicht weniger von dem Gefühlssinn verschieden, als man gewöhnlich annimmt. Es fehlt ihm, um ihm ganz gleich zu seyn, nur, dass das Auge seinen Ort verändern könne, um anderen Flächen eines Körpers entgegenzusehen. Dieser Mangel kaun aber durch die Ortsveränderung unseres Körpers ersetzt werden.

Dem Gehörsinn geht die Empfindung des Räumlichen fast ganz ab, weil er eben seine eigene Ausdehnung im Raume nicht empfindet. Die Ursachen dieses Unterschiedes sind unbekannt. Die Nervenhaut des Auges empfindet ihre eigene Ausbreitung und ihren Ort schon ohne alle äussere Affection, als Dunkel vor den Augen. Das Geruchsorgan empfindet wenigstens noch deutlich, an welchem Organ die Gerüche wahrgenommen werden, und von einem durchdringenden Geruch wissen wir, dass die ganze Nase in ihrem Innern eingenommen ist, wir können nicht weniger als eine Nase voll nehmen. Bei dem Gehör findet keinerlei Perception des Ortes, wo gehört wird, statt.

Die Empfindung der Bewegung ist eine doppelte, wie die Bewegung eine doppelte ist, fortschreitende und schwingende. Die Empfindung der fortschreitenden Bewegung findet in drei Sinnen in verschiedener Weise statt, im Gesichtssinn, Gefühlssinn und Geschmackssinn, in denselben Sinnen, in welchen überhaupt Distinction des Raumes möglich ist; das Erstere hängt von dem Letzteren ab und ist blosse Folge desselben. Eine Affection schreitet von einem Theil der Retina auf einen anderen fort, und wir stellen uns die Bewegung des Bildes als Bewegung des Körpers vor, ebenso mit dem Gefühlssinn. Auch der Geschmackssinn unterscheidet die Bewegung des Geschmacks über das Geschmacksorgan.

Die Perception der zitternden oder schwingenden Bewegung ist bei mehreren Sinnen möglich. Am offenbarsten ist diese Wirkung auf den Gehörsinn und Gefühlssinn, aber selbst die Nervenhaut des Auges und der Sehnerve scheinen der Unterscheidung dieser Eindrücke nicht fremd zu seyn. Was zunächst den Gehörsinn betrifft, so werden die dem Gehörnerven durch den schallleitenden Apparat des Gehörorganes, zuletzt durch das Labyrinthwasser mitgetheilten Erzitterungen, wenn sie schnell sind, bloss als Ton gehört, dessen Höhe mit der Schnelligkeit der Schwingungen zunimmt; wenn sie sehr langsam sind, unterscheidet der Gehörnerve nicht bloss den gemeinsamen Ausdruck derselben als einen bestimmten Ton, sondern leicht etwas von den einzelnen Schwingungen als Geräusch.

Die Schwingungen eines Körpers, die im Gehörorgane den Ton bedingen, werden von den Gefühlsnerven der Haut als Bebun-

gen empfunden öfter mit dem Gesammteindruck des Kitzels, wenn das Annähern des schwingenden Körpers, z. B. der Stimmgabel an empfindungsreiche Theile geschieht. Diese Erscheinungen liefern eine vollkommene Parallele zu denen am Gehörorgan. So wie das Gehör die Stösse eines Körpers einzeln als Geräusche, ihre schnelle Folge als Ton empfindet, ebenso empfindet der Gefühlsnerve die einzelnen Bebungen und zugleich, bei hinreichender Schnelligkeit der Schwingungen, die dem Gefühlsorgan eigene Empfindung des Kitzels.

Dass übrigens nicht die wellenförmige Bewegung der Schwingung zur Affection dss Gehörorgans nöthig ist, dass vielmehr eine schnelle Folge von mechanischen Stössen dasselbe leistet, was die Schwingungen thun, beweisen eben die vorher angeführten Versuche mit dem Savartschen Rad und der Sirene von Cagniard la Tour. Bei dem letztern Instrumente wird der Strom der Luft oder einer Flüssigkeit aus einer Oeffnung, während dem raschen Umlaufe eines Rades, durch jeden Zahn desselben augenblicklich aufgehalten. Die dadurch hervorgebrachten Unterbrechungen und Stösse, welche auf das Gehörorgan fortgepflanzt werden, sind die Ursache der Töne, deren Höhe mit der Zahl der Unterbrechungen in bestimmter Zeit zunimmt. Auch in dieser Beziehung bildet die Wirkung der Stösse eines Körpers auf das Gefühlsorgan eine Parallele zu den Erscheinungen am Gehörorgan. Denn bei der Berührung einer schwingenden Stimmengabel erhält der Gefühlsnerve auch eine schnelle Folge von Stössen, wovon jeder einzelne für sich nicht im Stande gewesen wäre, die Empfindung des Kitzels hervorzubringen.

Die Unterscheidung der Zeit in der Folge der Eindrücke, ist bei allen Sinnen möglich, nur bei dem Gehörnerven scharf, aber hier ganz ausserordentlich. Das von Savart erfundene Instrument, durch welches die Töne durch Reibung der Zähne eines umlaufenden Rades an einem Körper hervorgebracht werden, hat die Mittel gegeben, die grösste und die geringste noch wahrnehmbare Tonhöhe genauer, als es bisher möglich war, zu bestimmen. Savart hat gezeigt, dass bei gehöriger Stärke noch Töne vernommen werden, die 24000 Stössen oder 48000 einfachen Schwingungen in der Sekunde entsprechen. Zwei auf einander folgende Stösse oder vier auf einander folgende Schwingungen sind schon hinreichend einen vergleichbaren Ton zu bilden; d. h. ein Ton, zu dem 1000 Stösse in der Sekunde gehören, wenn er eine Sekunde anhalten soll, wird schon vernehmbar, wenn nur zwei Stösse davon gehört werden, und von einem andern Tone unterscheidbar, der 2000 oder mehr oder weniger Schläge in der Sekunde haben würde. Woraus hervorgeht, dass das Gehör selbst $\frac{1}{12000}$ einer Sekunde unterscheiden kann, da 24000 Stösse auf den, bei Savart's Instrumente möglichen, höchsten Ton für die Sekunde gehen.

Das Auge kann zwar das Bild eines schwingenden Körpers dem Sensorium mittheilen, und unterscheidet die Schwingungen, wenn sie sehr langsam sind; aber in diesem Falle werden die Schwingungen nicht dem Sehnerven mitgetheilt, so dass dieser sie in derselben Art wiederholt, oder in derselben Art

die Stösse empfängt, wie es der Gehörnerve durch seine Ausbreitung auf den Theilen vermag, welche das Labyrinthwasser enthalten. Der Sehnerve befindet sich nicht unter den Bedingungen, Schwingungen von der Art, wie die eines tönenden Körpers fortzupflanzen oder aufzunehmen, und müsste derselbe, wie der Gehörnerve, auf Membranen sich ausbreiten, welche sackartig mit Wasser gefüllt, und auch von aussen mit Wasser umgeben, mit einem, die Schwingungen leitenden Apparat in Verbindung stehen. Wäre der Sehnerve der Perception der Schwingungen wie der Gehörnerve und Gefühlsnerve fähig, so müsste eine auf die Nervenhaut des Auges durch die Luft verpflanzte Schwingung eines Körpers, wie am Gehörorgan Ton, so hier eine allgemeine Lichtempfindung hervorrufen. Ich habe schon gelegentlich erwähnt, dass die Stösse einer Stimmgabel, wenn sie den Bulbus oculi berühren, nicht hinreichen, die eigenthümliche Empfindung des Sehnerven im Dunkeln anzuregen. Die Ursache des Nichterfolges kann in der Schwäche dieser Stösse oder in ihrer Langsamkeit liegen. Die Schwäche der Stösse, welche die Nervenhaut nicht unmittelbar treffen, mag wohl ein Hauptgrund seyn; denn ein starker Stoss auf denjenigen Theil des Auges, wo die Nervenhaut sich befindet, bewirkt ja die Lichtempfindung. Vielleicht werden auch sehr schwache Stösse, wenn sie mit viel grösserer Schnelligkeit wiederholt die Nervenhaut selbst berühren, Lichtempfindung erregen. Unter diesen Gesichtspunkt kommen die Wirkungen des äussern Lichtes auf das Auge, dessen mechanische Wirkung durch Oscillationen bei dem jetzigen Zustande der Physik an Wahrscheinlichkeit gewonnen hat (Undulationstheorie). Schon Newton hat die Lehre von den Undulationen des Lichtes auf das Sehen angewandt, und das Sehen daraus erklärt. *Opt. quaest.* 12. Nach der Undulationstheorie werden die Farben aus der Schnelligkeit der Vibrationen und den Lichtwellen erklärt. Die Lichtwellen, welche die Empfindung des Blauen hervorrufen, sind die kürzesten, nach Herschel beträgt ihre Länge 16,7 Milliontheile engl. Zoll, ihre Anzahl in einer Sekunde 727 Billionen, die Lichtwellen des Roths sind die längsten 26,7 Milliontheile Zoll, Anzahl in der Sekunde 458 Billionen. Gehler's *physik. Wörterb. VI. I.* 349. Die Schwingungen der Körper, welche Töne in uns hervorbringen, sind viel langsamer. Die Luftsäule der 32 füssigen Pfeife der Orgel macht 32 Schwingungen in einer Sekunde. Nach Savart werden schon Töne wahrnehmbar, die nur 7—8 Schläge in der Sekunde machen und wenn jede Schwingung einen Eindruck von $\frac{1}{16}$ Sekunde macht.

Von chemischen Wirkungen werden wir durch mehrere Sinne unterrichtet, hauptsächlich durch den Geruch, den Geschmack, das Gefühl, durch jeden dieser Sinne in der ihm eigenthümlichen Energie. Flüchtige, die Nerven chemisch umstimmende Körper wirken zwar auf das Geruchsorgan am stärksten und manche Stoffe wirken auf dasselbe, welche auf das Geschmacksorgan und Gefühlsorgan keinen Eindruck hervorbringen, wie viele Riechstoffe, namentlich z. B. die Ausdünstungen der Metalle, des Bleies, vieler Mineralien u. a. Aber im Allgemeinen lässt sich nicht behaupten

dass nur das Geruchsorgan flüchtige Stoffe percipire. Denn diese vermögen auch auf das Gefühlsorgan und Geschmacksorgan einzuwirken, wenn sie geeignet sind, chemische Umstimmungen in denselben hervorzubringen, und wenn sich die flüchtigen Stoffe erst in den Flüssigkeiten auflösen, welche das Geschmacksorgan bedecken. Auf die Gefühlsnerven einiger Schleimhäute, z. B. der Conjunctiva, der Schleimhaut der Lungen, wirken einige flüchtige Stoffe sehr heftig ein, blosse Gefühlseindrücke erregend, wie die flüchtigen Exhalationen des Meerrettigs, des Senfes, scharfe, erstickende Gase. Auf das von der Oberhaut entblösste Gefühlsorgan der äussern Haut wirken auch viele flüchtige Stoffe stark erregend ein und rufen die Qualitäten der Gefühlsnerven, als Brennen, Schmerzen u. dergl. hervor.

Ob die tropfbarflüssigen Körper auf das Geruchsorgan zum Geruch bestimmend einzuwirken vermögen, ist unbekannt. Es giebt wegen der Verborgenheit des Geruchsorganes wenig Gelegenheit darüber Versuche anzustellen. Obgleich man noch nie etwas der Art an Menschen beobachtet hat, so ist es a priori nicht gerade abzuweisen, da doch auch die flüchtigen Exhalationen sich erst in der Feuchtigkeit der Schleimhautflächen auflösen müssen, ehe sie auf die Geruchsnerven wirken können. Die Fische zeigen uns aber geradezu das Beispiel des Geruchs von aufgelösten tropfbarflüssigen Substanzen und ich sehe keine Schwierigkeit ein, dass ein Thier nicht sollte das Tropfbarflüssige in den Qualitäten der Geruchsnerven empfinden, was es in den Qualitäten der Geschmacksnerven als Geschmack empfindet. Riechen in der Luft und im Wasser verhalten sich zu einander, wie Athmen in der Luft und im Wasser.

Die tropfbarflüssigen Körper bringen sowohl an dem Gefühlsorgan, als Geschmacksorgan chemische Umstimmungen der Nerven hervor, die in jedem auf verschiedene Weise empfunden werden; Senf wirkt ganz anders auf die Haut, als auf die Zunge ein, Säuren, Alcalien, Salze auf beide ganz verschieden. Ihre chemische Einwirkung kann zwar zunächst nur dieselbe seyn, aber die Reaction ist nach den Kräften der Nerven eine ganz verschiedene. Auf der Zunge kommen beiderlei Wirkungen höchst wahrscheinlich in verschiedenen Nerven vor, und können von derselben Substanz erregt werden. Von allen Nerven ist der Geschmacksnerve am meisten den chemischen Einwirkungen ausgesetzt, und er ist der bestimmbarste durch die geringsten Modificationen der chemischen Constitution der Körper. Die Zustände, in welche der Gefühlsnerve durch chemische Einwirkungen versetzt wird, sind bei weitem weniger mannigfaltig in der Art des Gefühls, und diese Nerven sind auch, wenigstens auf der äussern Haut (nicht an den Schleimhäuten) gegen chemische Einwirkungen durch die Epidermis geschützt.

Durch ihren Conflict mit chemischen äusseren Einwirkungen werden die drei niederen Sinne, der Geruch, der Geschmack und das Gefühl wichtig für die Unterscheidung und Wiedererkennung der Materien, obgleich uns weder der Geruch, noch der Geschmack, noch das Gefühl irgend etwas von den inneren Eigen-

schaften der Körper aufschliessen. Nicht einmal bleiben sich die Eindrücke gleich bei den Species chemisch gleich constituirter Körper, und sind nicht constant verschieden bei chemisch verschieden constituirten Körpern.

Die höheren Sinne sind den Einwirkungen chemischer Umstimmungen von aussen nicht ausgesetzt, woraus nicht geschlossen werden darf, dass nur die niederen Sinne dazu fähig sind.

Ein wichtiger Unterschied der Sinne betrifft ihr Verhältniss zur Nähe und Ferne der Körper, von welchen sie uns Aufschluss geben. Genau genommen zeigen alle Sinne nur das unmittelbar in ihnen gegenwärtige an. Das Auge empfindet nichts von dem leuchtenden Körper, es wird von den Enden der zu ihm gesandten Lichtstrahlen getroffen, und die Stellen der Nervenhaut werden empfunden, welche davon afficirt werden. Das Gehörorgan empfindet nichts von dem schwingenden Körper, sondern die Stösse, die ihm selbst von dort aus mitgetheilt sind. Die Vorstellung wirkt aber bald so modificirend und herrschend, in die Acte des Gesichtssinnes ein, dass der Gesichtssinn uns nach aussen zu wirken scheint, dass an die Stelle der flächenhaften Bilder in der Vorstellung die körperlichen Gegenstände selbst treten und das Bild einer Gegend, welches in einem Fensterrahmen Raum hat, uns zur unmittelbaren Anschauung der nahen und fernen Gegenstände selbst wird. Bei den niederen Sinnen ist ein solcher Grad der Veränderung der Empfindung durch die Vorstellung nicht möglich; wir übertragen zwar auch den Inhalt der Empfindung auf die Gegenstände; indess da die Objecte durch unmittelbare Berührung die Empfindungen des Getastes und Geschmackes erregen, so werden wir durch Nachdenken sogleich bewusst, dass wir von der Affection unserer Organe nur mehr oder weniger sicher auf die Eigenschaften der berührenden Körper schliessen.

IX. Es liegt nicht in der Natur der Nerven selbst, den Inhalt ihrer Empfindungen ausser sich gegenwärtig zu setzen, die unsere Empfindungen begleitende, durch Erfahrung bewährte Vorstellung ist die Ursache dieser Versetzung.

Um die erste selbstthätige Wirkung der Sinne unabhängig von der Erziehung der Sinne zu erkennen, müssten wir die volle Erinnerung der ersten Sinneseindrücke unabhängig von allen durch sie erlangten Vorstellungen haben können, diess ist unmöglich. Schon bei den ersten Sinneseindrücken des Kindes entstehen dunkle Vorstellungen. Der einzige Weg, der hier möglich, ist, die Acte der Sinnesthätigkeit und der Vorstellung selbst nach ihrem Inhalte zu untersuchen. Bei der Zergliederung des bei der Sinnesthätigkeit stattfindenden Acts des Geistes stellen sich als Gegensätze heraus das empfindende, selbstbewusste Subject des bestimmbaren Körpers, dessen innere oder von aussen bewirkte Zustände zunächst Objecte für das selbstbewusste Subject werden, und die Aussenwelt, mit welcher der bestimmbare Körper in Conflict kommt. Dem Bewusstseyn, dem Ich ist jede Empfindung, jede Bestimmung von aussen, jede Passion schon ein Aeusseres. Diess Ich setzt sich den heftigsten Em-

pfindungen, den qualvollsten Schmerzen als freies Subject entgegen. Das Glied, was uns schmerzt, kann entfernt werden und das Ich wird nicht geschmälert; das Ich kann der meisten Glieder des Organismus entäussert seyn und es ist noch ebenso ganz wie vorher. Aber bei diesem Standpuncte des Idealismus ist noch kein Unterschied gemacht zwischen jenem Aeussern, was die belebten Glieder unsers Körpers dem Ich der selbstbewussten Seele sind und dem Aeussern der Aussenwelt neben unserm belebten Körper. Am leichtesten lässt sich das Entstehen dieser Unterscheidung bei dem Gefühlssinn erkennen, dem Sinne, der auch am ersten von allen in lebhaften Verkehr mit der Aussenwelt tritt. Stellen wir uns ein menschliches Wesen vor, das ohne jemals eine Gesichtsempfindung gehabt zu haben, wie das Kind im Uterus, bloss Gefühle hat, durch die Bestimmungen seines Körpers von aussen, so wird die erste dunkele Vorstellung keine andere seyn, als des bestimmbaren Ichs im Gegensatz von etwas Bestimmendem. Der Uterus, der das Kind zu einer bestimmten Lage nöthigt, und Empfindungen verursacht, ist jetzt noch zunächst die Veranlassung zum Bewusstwerden dieses Gegensatzes. Wie entsteht aber jetzt die Vorstellung von zweierlei Aeusseren, von dem Aeussern, welches die Glieder des eigenen Körpers des Kindes für sein Ich sind und von dem Aeussern der wahren Aussenwelt. Auf zweierlei Art. Erstens das Kind beherrscht die Bewegungen seiner Glieder und empfindet seine Glieder, die es selbstständig bewegt, als die seinem Ich unterworfenen Werkzeuge desselben. Es beherrscht dagegen den Widerstand, den ihm seine Umgebung darbietet, nicht und dieser Widerstand wird ihm die Vorstellung von einem absolut Aeussern vorführen. Zweitens tritt ein Unterschied der Empfindungen ein, je nachdem zwei Theile seines Körpers einander berühren und also eine doppelte Empfindung in den sich berührenden Theilen erzeugen, oder je nachdem hingegen ein Theil seines Körpers nur den Widerstand von aussen gewahr wird. Im erstern Falle wo z. B. ein Arm den andern berührt, ist der Widerstand der eigne Körper selbst und das widerstandleistende Glied hat ebensowohl Empfindung, als das andere tastende Glied. Seine Glieder sind in diesem Falle äussere Objecte der Empfindung und empfindend zugleich. Im zweiten Fall wird das Widerstandleistende als etwas Aeusseres nicht zum lebenden Körper Gehöriges zur Vorstellung kommen, wo das berührende Glied die Vorstellung keiner dem Ich unterworfenen und zum lebendigen Ganzen gehörigen Theile erweckt. Es wird also in dem Kind die Vorstellung von einem Widerstand entstehen, den sein eigener Körper anderen Theilen seines Körpers darbieten kann und zugleich die Vorstellung von einem Widerstande, den ein absolut Aeusseres den Theilen seines eignen Körpers darbieten kann. Damit ist die Vorstellung von einer Aussenwelt als Ursache von Empfindungen gegeben. Empfindet nun zwar ein thierisches Wesen zunächst nur immer sich selbst, seine afficirten Nerven, seine afficirte Haut, so vergesellschaftet sich von nun an, unzertrennlich mit der Empfindung des Gefühls die der äusseren Ursache. Auf diesem Standpunkte steht das Empfinden jedes erwachsenen Menschen. Legen wir die

Hand auf eine Tafel auf, so werden wir zwar beim Nachdenken sogleich bewusst, dass wir nicht die Tafel empfinden, sondern nur den Theil der Haut, der die Tafel berührt; aber ohne Nachdenken verwechseln wir sogleich die Empfindung der berührten Hautfläche mit der Vorstellung des Widerstandes und wir behaupten dreist, dass wir die Tafel selbst empfinden, was doch nicht der Fall ist. Bewegt sich nun gar die berührende Hand über weitere Strecken der Tafel hin, so entsteht die Vorstellung von einem grösseren Objecte, als die Hand zu decken vermag. Muss zum Umfassen des Widerstandes, die Bewegung der Hand in verschiedenen Dimensionen oder Directionen geschehen, als die Hand in einer Lage hatte, so entsteht die Vorstellung von Flächen, die in verschiedener Direction angelegt sind und sofort von einem, den Raum anfüllenden und behauptenden, äusseren Körper. Die Empfindung, die wir von den dazu nöthigen Bewegungen der Muskeln haben, ist die nächste Ursache zu dieser Vorstellung des äussern Körpers, denn die erste Vorstellung von einem ausgedehnten oder den Raum erfüllenden Körper entsteht durch die Empfindung unserer Leiblichkeit selbst. Die Leiblichkeit unserer selbst ist das Maass, nach welchem wir sofort im Gefühlssinn, die Ausdehnung aller widerstandleistenden Körper beurtheilen. Die Frage ob die Idee des Raums im Sensorium selbstständig primitiv vorhanden ist und auf alle Empfindungen einwirkt, oder durch die Erfahrung erst successiv entsteht, kann hier ganz übergangen werden. Wir kommen darauf bei der Lehre von den Seelenfunctionen zurück. Hier ist nur soviel gewiss, dass die Vorstellung des Raums, wenn sie auch nicht primitiv dunkel im Sensorium vorhanden ist und beim Empfinden nur geweckt und applicirt wird, durch die ersten Vorgänge beim Empfinden des Gefühlssinnes bereits erfahrungsmässig entstehen muss.

Die dunkeln Vorstellungen eines empfindenden, der Aussenwelt entgegengesetzten Körpers, der selbst den Raum erfüllt, von der Räumlichkeit der Aussendinge sind schon vorhanden und bis zu einigem Grad von Helligkeit und Sicherheit ausgebildet, ehe der Gesichtssinn mit der Geburt in Thätigkeit tritt. Die Empfindungen des Gesichtssinnes werden dadurch bald verständlich und die gewonnenen Vorstellungen auf die Erfahrungen dieses Sinnes bald übertragen.

Es ist ungemein schwer, wenn nicht völlig unmöglich, sich mit einiger Wahrscheinlichkeit einzubilden, wie das Kind die ersten Eindrücke auf die Nervenhaut des Sehorganes beurtheilt, und zu entscheiden, ob das Kind das Bild im Auge als einen Theil seines Körpers, oder als Etwas ausser ihm ansieht. Das Bild kann jedenfalls nicht mit dem Subject oder Ich identisch gehalten werden; denn wie der Schmerz und alles Empfundene ist es ein dem Ich entgegentretendes Object. Ob aber diess Object als Theil des lebendigen Körpers, oder als etwas ausser ihm Liegendes, Entferntes vorgestellt werde, ist eine andere Frage. Man hat öfter behauptet, es liege in der Natur des Gesichtssinnes, dass die Empfindung nicht am Orte, wo sie geschieht, wie beim Gefühlssinn vorgestellt werde; dass die Nervenhaut sich nicht dabei selbst empfindend perci-

pire, und dass die Empfindung nicht am Orte der Nervenhaut, sondern weit davon entfernt gegenständlich werde. Diess lässt sich jedoch nicht geradezu behaupten, denn das Dunkle vor den geschlossenen Augen, welches doch die Empfindung der Ruhe und des reizlosen Zustandes der Nervenhaut des Auges ist, wird eben nur vor den Augen und also am Ort des sensibeln Organs empfunden, und weder hinter uns, noch zu den Seiten, noch in der Ferne vorgestellt. Dieses dunkle Sehfeld der geschlossenen Augen ist aber derselbe Rahmen, dieselbe Tabula rasa, in welcher hernach alle Umrisse der sichtbaren Gestalten als Affection bestimmter Theile der Nervenhaut auftreten.

Wären die Vorstellungen von äussern Objecten, als Ursachen der Empfindung durch den Gefühlssinn nicht schon entstanden, so müsste derselbe Process beim ersten Sehen, wie wir ihn vorher als beim ersten Fühlen stattfindend geschildert haben, eintreten. Die Affectionen der Nervenhaut des Auges würden dem Ich als Objecte entgegentreten, aber unbestimmt, ob sie ausser dem lebendigen Körper, oder an ihm stattfinden. Aber das Kind wird schon mit dunkeln Vorstellungen von Aussendingen ausser seinem lebenden Körper geboren, mit Vorstellungen von ihrer Realität als Ursache von Empfindungen. Und Empfindung und Vorstellung des Gegenstandes der Empfindung werden schon verwechselt. Die nächsten Vorgänge werden nun, so weit sich als wahrscheinlich errathen lässt, diese seyn.

Die Bilder der Objecte sind in der Nervenhaut in einer Fläche realisirt, wie sie flächenhaft ausgebreitet ist. Sie werden in der Vorstellung auf einer Fläche seyn, ohne irgend eine Idee von Nähe und Ferne, von körperlicher Raumerfüllung. Wie bald auch das Kind die Bilder ausser sich setzt, sie werden ihm in einer Fläche, in einer Entfernung liegen, es greift auch nach dem fernsten wie nach dem nächsten, es greift nach dem Monde. Cheseldens Kranker, der Blindgeborne, welcher das Gesicht durch die Operation erhielt, sah alle Bilder wie in einer Fläche liegend an, obgleich bei ihm die Vorstellungen von der körperlichen Welt durch den Gefühlssinn vollkommen ausgebildet waren. Ihm kam es vor, als ob die Gegenstände auf ihn eindrängten.

Die Unterscheidung der Bilder der Aussenwelt von dem Bilde des eignen Körpers, das sich mit der Aussenwelt in dem Rahmen des Sehfeldes darstellt, wird auf folgende Weise stattfinden. Ein Theil unsers Körpers entwirft wie die Aussendinge ein Bild in unserm Auge. Dieser uns selbst mit den äussern Objecten sichtbare Theil unsers Körpers, ist nach der Stellung grösser oder kleiner, es kann ein grosser, oder kleiner Theil des Rumpfes und der Gliedmassen sein, vom unserm Kopfe ist in dem, auf unserer Netzhaut entworfenen Bilde, nur ein sehr kleiner Theil, nämlich die Flächen der Nase, die Nasenspitze, die gesenkten Augenbraunen und allenfalls auch die Lippen enthalten. Diess Bild unseres eigenen Körpers nimmt in fast allen Gesichtseindrücken regelmässig eine bestimmte Stelle des obern, mittlern, untern Theil des Sehfeldes ein; es bleibt constant, während die übrigen Bilder beständig wechseln.

So wird das Bild des eigenen Körpers bald von dem Kinde, als das constante von denjenigen Bildern unterschieden werden, die je nach den Bewegungen des Körpers und der Augen andern Platz machen. Die Bewegungen im Bilde seines Körpers werden dem Kinde bald noch sicherer die Vorstellung von seinem eignen Körper im Gegensatz zu den absolut äusseren Körpern vorführen. Denn diesen gesehenen Bewegungen im Netzhautbilde entsprechen wirkliche, und mit Intention ausgeführte Bewegungen am Körper selbst. Gefühlsempfindungen von seinem Körper verbinden sich mit Gesichtsempfindungen von seinem Körper. Indem das Kind einen Theil seines Körpers mit der Hand berührt, sieht es diesen Act auch im Gesichtsbilde von seinem Körper ausgeführt. Hier berühret das Bild der Hand das Bild des Körpers. Auf diese Weise werden Vorstellungen für die Gesichtsempfindungen so bindend, dass wir nicht allein das Bild, das wesentlich nur in Affectionen aliquoter Theile unserer Nervenhaut besteht, ausser uns setzen, sondern auch das Empfundene vollständig mit den Gegenständen, trotz aller Unterschiede der Grösse verwechseln.

Ja das flächenhafte Sehfeld wird in der Vorstellung sogar bald zu einem, nach allen Richtungen ausgedehnten Sehraum. Denn mit jeder Bewegung unseres Körpers, mit jedem Schritte vorwärts verändern sich die Formen der Bilder, das Ferne rückt uns nahe, das Nahe bietet uns andere Seiten dar. Diese Verschiebung der Bilder in dem Sehorgane während der Ortsbewegung unseres Körpers, muss in der Vorstellung sich so darstellen, als ob wir zwischen den Bildern uns im Raum bewegen, zwischen ihnen durchschreiten; denn das Bild unseres Körpers im Sehfelde unseres Auges, trifft dabei mit den Bildern von immer andern, äusseren Objecten während der Bewegung zusammen, und die Ortsbewegung ist die Ursache dieser Verschiebungen.

Wir schliessen aus dieser Darstellung, das Versetzen des Empfundenen nach aussen ist eine Folge des Zusammenwirkens der Vorstellung und der Nerven nicht des Sinnes allein, der isolirt nur seine Affectionen empfinden würde.

X. *Die Seele nimmt nicht bloss den Inhalt der Empfindungen der Sinne auf, und legt sie vorstellend aus, sie hat auf den Inhalt derselben Einfluss, indem sie der Empfindung Schärfe ertheilt. Diese Intention kann sich bei den Sinnen mit Unterscheidung der räumlichen Ausdehnung auf einzelne Theile des empfindsamen Organes isoliren, bei dem Sinne mit feiner Unterscheidung der Zeitmomente auf einzelne Acte der Empfindung isoliren. Sie kann auch einem Sinne ein Uebergewicht über den andern ertheilen.*

Die Aufmerksamkeit kann sich nicht vielen Eindrücken zugleich widmen; finden mehrere zugleich statt, so nehmen sie in dem Maasse ihrer Vermehrung an Schärfe ab, oder die Seele nimmt bloss einen derselben mit Schärfe auf, die anderen aber undeutlich oder gar nicht. Ist die Aufmerksamkeit der Seele von Sinnesnerven abgezogen, und in intellectuelle Betrachtungen, tiefe Speculation, oder in eine tiefe Leidenschaft versunken, so sind die Empfindungen der Nerven der Seele völlig gleichgültig, sie werden gar nicht bemerkt, d. h. zum Bewusstseyn des Ichs ge-

bracht oder so schwach, dass die Seele sie augenblicklich wegen des Uebergewichtes einer bestimmten Vorstellung nicht festzuhalten vermag, oder sich ihres Daseyns erst einige Zeit darauf erinnert, wenn das Gleichgewicht hergestellt ist, und jene occupirende Vorstellung gleichsam die Wageschale verlassen hat. Die Schärfe, welche sich einzelnen Sinnen ertheilen lässt, wenn andere Sinne ganz unthätig sind, ist daraus leicht begreiflich, die Aufmerksamkeit wird nicht mehr unter mehreren Sinnen getheilt, sondern jedesmal der Zergliederung der Empfindungen des bestimmten Sinnes zugewandt. Der Blinde bringt es im Gefühl zu einer bewunderungswürdigen Schärfe, dass er die feinen Erhabenheiten, z. B. auf Münzen, leicht unterscheidet, ja sogar zuweilen das Corpus oder Korn eines Färbestoffs von einem andern zu unterscheiden vermag.

Die Intention zergliedert aber auch das Detail einer einzigen Sinnesempfindung. Da die Seele nicht fähig ist allen Theilen einer afficirten Hautstelle eine gleich scharfe Aufmerksamkeit zuzuwenden, so wird die Schärfe der Empfindung aller Theile successiv erreicht, durch Abspringen der Intention von einem Theil der Nervenfasern auf andere. Durch Intention kann eine schwache, juckende Empfindung, an einem Punkte der Gesichtshaut, einen ausserordentlichen Grad von lästiger Schärfe und Dauer erhalten, dagegen sie von selbst vergeht, wenn man darauf vergessen kann. Bei dem Gesichtssinn findet dieselbe Intention statt. Wollte man die Intention dem ganzen Sehfelde einer Gesichtsempfindung zuwenden, so würde man nichts mit Schärfe sehen. Die Intention neigt sich bald auf dieses, bald auf jenes und zergliedert das Detail der Empfindung, und dasjenige, worauf die Intention gerichtet ist, wird jedesmal schärfer als das übrige derselben Empfindung gesehen. Diess ist nicht bloss so zu verstehen, dass die Mitte der Nervenhaut, an welcher die Schärfe der Empfindung am stärksten ist, sich successiv verschiedenen Theilen des Objectes zuwendet, so dass das übrige undeutlich gesehen wird; sondern bei unverwandter Sehachse kann die Intention auch für das seitlich liegende der Gesichtsempfindung sich schärfen. Bei unverwandter Sehachse können wir, eine zusammengesetzte, mathematische Figur betrachtend, die einzelnen Elemente derselben successiv schärfer sehen und das übrige der Figur misachten. Die betrachtete vieleckige Figur, in ihrem Innern durch Linien eingetheilt, gewährt einen verschiedenen Eindruck, je nachdem die Aufmerksamkeit diesen oder jenen Theil des Ganzen sich einprägt; ein einzelnes Dreieck in der ganzen Figur kann unsere Intention ganz beschäftigen, im nächsten Augenblick kann die Intention auf eine durch das Dreieck durchgelegte, andere Figur übergehen, die vorher schon vorhanden war, aber bei der scharfen Anschauung des Dreiecks misachtet war. Es ist ebenso mit architectonischen Zierrathen, Rosen, Arabesken; und der Reiz dieser Figuren besteht grossentheils darin, dass sie das lebendige Wirken und Verändern der Intention in hohem Grade anregen, und dadurch selbst vor uns eine Art von Lebendigkeit offenbaren. Beide Augen sehen zwar in der Regel und bei gleicher Sehkraft gleichzeitig, aber die Inten-

tion vermag auch wieder den Gesichtseindruck des einen Auges zum herrschenden zu machen, wie später empirisch gezeigt werden soll, und es lässt sich deutlich beweisen, dass beim Sehen mit zwei Augen, ohne dass wir es beim gewöhnlichen Sehen merken, ein Wettstreit beider Augen stattfindet, und dass der Eindruck, je nach der Störung des Gleichgewichts, ein ganz verschiedener ist. Das Sehen mit beiden Augen durch verschieden gefärbte Gläser auf ein weisses Blatt kann vorläufig als Beispiel dienen. Die Eindrücke von blau und gelb vermischen sich dabei nicht leicht, sondern bald ist das blaue, bald das gelbe vorherrschend. Bald erscheinen blaue wolkenartige Flecken auf dem gelben, bald gelbe, ihre Grösse verändernde Flecken auf blauem Felde, bald ist die eine Farbe allein herrschend, und hat die andere absorbirt, bald umgekehrt. Das fleckenweise Erscheinen der einen Farbe auf der andern zeigt sogar, dass ein Theil der Nervenhaut des einen Auges, mit Theilen der Nervenhaut des andern Auges intendirt seyn kann.

Bei dem Gehörsinn, welcher die räumliche Ausdehnung in der Art, wie beim Gesichtssinn und Gefühlssinn nicht unterscheidet, aber die schärfste Empfindung für die Zeitfolge der Eindrücke hat, ist die Wirkung der Intention eine andere. Das Gehörorgan unterscheidet örtlich höchstens, dass das eine oder das andere Ohr hört, oder schärfer hört, und dann kann allerdings auch, wenn in beide Ohren Verschiedenes gesprochen wird, die Intention sich dem einen oder dem andern Eindruck mehr hingeben. Bewunderungswürdig ist aber die Wirkung der Intention auf die Unterscheidung der schwachen Töne; wir überhören gewöhnlich die schwachen Nebentöne der Saiten und anderer Tonwerkzeuge, durch Intention schärfen wir die Empfindung derselben, wie die des leisesten Geräusches. Noch merkwürdiger ist die Fähigkeit, durch Intention von vielen gleichzeitig gehörten Tönen eines Orchesters jeden herauszuhören, und selbst dem schwächern Klang eines Instrumentes unter den übrigen mit Aufmerksamkeit zu folgen, wobei die Eindrücke der übrigen an Schärfe abnehmen.

Beim Schluss dieser Einleitung in die Physiologie der Sinne wirft sich die Frage auf, ob die Zahl der Sinne eine beschränkte sei, und ob es nicht bei einzelnen Thieren auch noch andere geben könne. Die Täuschung in welche Spallanzani verfiel, indem er den geblendeten Fledermäusen, wegen ihrer geschickten Flugbewegung in der Nähe der Wände, einen eigenen Sinn zuschrieb, ist bekannt. Ebenso dass Manche den Thieren wegen ihrer Vorempfindung der Witterungsveränderung einen eigenen Sinn zuschrieben. Da der Zustand des Luftdrucks, die Menge des Wasserdampfs in der Atmosphäre, die Temperatur, die Electricität auf die ganze thierische Oeconomie unseres Körpers schon so bedeutend wirken, dass wir ihre Veränderungen empfinden, so kann man sich recht gut die Möglichkeit solcher, und noch grösserer Wirkungen auf die Thiere denken. Indessen wird auch bei grosser Abhängigkeit von der Witterung in Hinsicht der Empfindung damit kein neuer Sinn gegeben seyn. Die Witterung kann vielmehr durch die Zustände des ganzen Ner-

vensystems empfunden werden, und sie wird es zumeist durch die Empfindungen der Nerven, die am zahlreichsten und ihr am meisten ausgesetzt sind, der Gefühlsnerven. Ein besonderer Sinn für die Electricität, woran man als möglich bei irgend einem Thiere gedacht hat, ist a priori nicht stattbaft. Denn die Electricität wirkt schon, wie oben gezeigt wurde, auf alle Sinne, deren eigenthümliche Empfindungen sie anregt. Das Wesentliche eines neuen Sinnes liegt nicht in dem Umstand, dass damit Perception von äusseren Gegenständen entsteht, die gewöhnlich nicht auf die Sinne wirken, sondern dass die äussern Ursachen eine eigenthümliche Art des Empfindens erregen, welche in den Empfindungen unserer fünf Sinne noch nicht enthalten ist. Eine eigenthümliche Art des Empfindens wird von den Kräften des Nervensystems abhängen, und dass eine solche bei einzelnen Thieren vorkomme, lässt sich a priori nicht läugnen, indess sind keine Thatsachen bekannt, welche die Existenz einer neuen eigenthümlichen Sinnesart feststellen; auch ist es ganz unmöglich, über die Natur einer Empfindung etwas an Anderen, als an sich selbst zu erfahren.

Einige haben die inneren Empfindungen des Gefühlssinnes, wodurch wir die Zustände unseres Körpers erfahren, als etwas vom Gefühlssinn Verschiedenes angesehen, und das Gemeingefühl coenaesthesis einem Sinne ziemlich nahe gestelt. Diese Unterscheidung ist fehlerhaft, denn die Gefühle des Gemeingefühls sind von derselben Gattung, wie die Gefühle der Haut, welche von aussen erregt werden, in manchen Organen nur unbestimmter, dunkler. Auch ist es für den Sinn gleich, ob er von aussen oder innen gereizt wird, und bei keinem Sinne unterscheiden wir objective und subjective Empfindungen, als etwas wesentlich Verschiedenes. Die Bezeichnung Tastsinn drückt allerdings eine besondere Beziehung des Gefühlssinnes zur Aussenwelt aus. Aber das Tasten bringt nur die Energien des Gefühlssinnes zur Perception, welchen überall dieselben Nerven mit doppelten Wurzeln, die gemischten Hirn- und Rückenmarksnerven dienen. Das dem Tasten Analoge kömmt auch bei den andern Sinnen vor, es ist ein willkührlich dirigirtes Fühlen, so giebt es aber auch ein Hören, Sehen, Schmecken, Riechen (Spüren). *Allgemeine Litteratur der Physiologie der Sinne:* Le Cat *traité des sens. Amst.* 1744. Elliot *über die Sinne. Leipz.* 1785. Steinbuch *Beiträge zur Physiologie der Sinne. Nürnberg* 1811. Tourtual *die Sinne des Menschen. Münster* 1827.

I. Abschnitt. Vom Gesichtssinn.

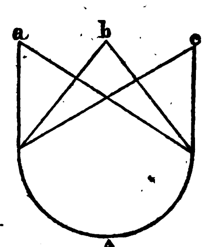
I. Capitel. Von den physikalischen Bedingungen der Bilder im Allgemeinen.

a. Von den möglichen Arten der Sehorgane.

Aus den in der Einleitung zur Physiologie der Sinne angeführten Thatsachen geht hervor, dass Licht und Farbe Sensationen des Sehnerven und der Nervenhaut des Auges sind, und dass das Dunkle vor den Augen Empfindung der Ruhe, des reizlosen Zustandes der Nervenhaut ist. Die Sensationen des Lichtes und der Farben entstehen aus dem Dunkel der ruhigen Nervenhaut, da wo aliquote Theile der Nervenhaut, durch irgend einen innern Reiz (Blut u. a.), oder äussern Reiz (Druck, Electricität u. a,) erregt sind. Je nach der gereizten Stelle der Nervenhaut hat die Lichtempfindung auch auf dem dunkeln Sehfelde eine andere Stelle. Das Druckbild von Affection der einen Seite des geschlossenen Auges hat seine bestimmte Stelle, das Druckbild der andern Seite ihre ebenso bestimmte, entgegengesetzte Stelle; und die Druckbilder von Affection des obern und untern Theils der Nervenhaut erscheinen auch im Sehfeld entgegengesetzt. Ist der drückende Körper klein, z. B. eine stumpfe Spitze und also die gedrückte Stelle der Nervenhaut auch klein, so ist auch das Lichtbild klein. Geschieht der Druck hingegen an den Seiten des Auges in einiger Breite mit der Kante eines Körpers, so ist das Druckbild auch dem entsprechend ausgedehnt. Diese Bilder sind nicht scharf, weil der Druck auf das Auge, durch die Augenlieder und durch die Augenhäute, auch einigermassen in die Breite wirkt. Wäre es aber möglich den Druck scharf auf bestimmte Stellen der Nervenhaut zu isoliren, so würde man ohne Zweifel auch ganz scharfe Bilder von mechanischer Ursache erhalten. Das physikalische imponderable Princip, das den Namen Licht erhalten hat, weil die lichten Affectionen der Nervenhaut des Auges von ihm gewöhnlich herrühren, bringt, wenn es die ganze Nervenhaut gleichmässig afficirt, in ihr die Empfindung eines, über das ganze Sehfeld verbreiteten Lichtes hervor, und macht das ruhige Dunkel vor den Augen zum lichten Sehfeld. Wirkt aber dieses, der Erregung der Nervenhaut homogene und wohlthätige Princip, auf einzelne Theile der Nervenhaut ein, so stellen die gereizten aliquoten Theile der Nervenhaut in der Empfindung begrenzte, lichte Bilder dar, und die Schatten dieser Bilder sind die dazwischen liegenden, nicht gereizten Stellen der Nervenhaut, welche ruhig, wie bei geschlossenen Augen, dunkel bleiben. Dadurch wird das Sehen von Körpern möglich, die entweder jenes Princip selbst ausstrahlen, leuchten, oder es von leuchtenden Körpern empfangend, als undurchgänglich (undurchsichtig) zurückwerfen, und

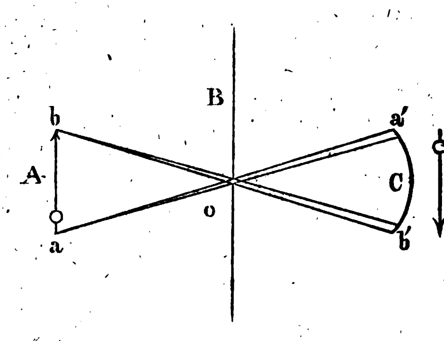
auf diese Art in das Licht empfindende Auge werfen. Die Lichtempfindung entsteht dann an einer bestimmten Stelle des Auges, und man glaubt den Körper vor sich zu haben, welcher doch jenes die Lichtempfindung erregende Princip, welches er anderswoher erhalten, nur zurück und ins Auge wirft.

Wenn aber das Licht lichte Abdrücke oder Bilder von den Gegenständen, von welchen es kommt, auf der Nervenhaut entwerfen soll, so ist es nöthig, dass das von bestimmten Theilen der äussern Objecte, entweder unmittelbar oder durch Reflexion kommende Licht auch wieder nur entsprechende Theile der Nervenhaut in Thätigkeit setze; wozu besondere physikalische Bedingungen nöthig sind. Das Licht verbreitet sich von dem leuchtenden, jenes imponderable Princip ausstralenden Körper stralig nach allen Richtungen, welche dem Durchgang desselben kein Hinderniss entgegensetzen (durchsichtig). Ein leuchtender Punct wird also eine Fläche allseitig erleuchten, und nicht wieder einen einzelnen Punct dieser Fläche hell machen; und wenn die Fläche, welche das ausstralende Licht eines Punctes empfängt, die nackte Oberfläche der Nervenhaut des Auges wäre, so würde das Licht eines Punctes die Lichtempfindung in allen Theilen der Nervenhaut und nicht in einem Puncte derselben erregen, und das gilt so von allen übrigen Lichtpuncten, welche die Nervenhaut strahlend beleuchten können. Z. B. wenn Fig. 1. *A* die concave Oberfläche der Nervenhaut wäre, so wird das rothe Licht von *a* die ganze Nervenhaut *A*, das farblose Licht von *b* auch die ganze Nervenhaut *A*, das gelbe Licht von *c* auch die ganze Nervenhaut *A* beleuchten, und es wird also die ganze Nervenhaut *A* roth, licht und gelb sehen, d. h. jeder Punct der Nervenhaut wird zugleich von rothem, farblosem und gelbem Lichte bestimmt, und der Eindruck kann den verschieden gefärbten Puncten *a*, *b*, *c* nicht entsprechen, sondern wird ein gemischter seyn, aus *a*, *b*, *c*, aus rothem, farblosem und gelbem Lichte, ohne dass *a*, *b*, *c* als getrennte Puncte unterschieden werden. Ebenso wird es seyn, wenn die Nervenhaut eines Auges, wie bei den Insecten und Crustaceen nach aussen convex ist. Eine nackte Nervenhaut ohne optische, das Licht sondernde Apparate würde also nichts Bestimmtes sehen, sondern nur im Allgemeinen den lichten Tag empfinden, und von der Nacht unterscheiden können.



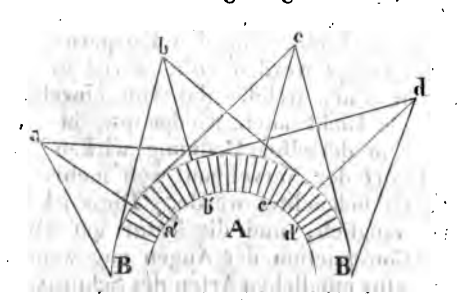
Wenn also durch das äussere Licht, ein den Körpern entsprechendes Lichtbild im Auge erregt werden soll, so ist es nöthig, dass Apparate vorhanden sind, welche das von einzelnen Puncten *a*, *b*, *c* — *n* ausgehende Licht auch wieder nur in einzelnen Puncten der Nervenhaut in derselben Ordnung wirken lassen, aber verhüten, dass ein Punct der Nervenhaut von mehreren Puncten der Aussenwelt zugleich beleuchtet werde. Diess ist im Allgemeinen auf dreierlei Art möglich, und die Natur hat zwei Arten dieser Apparate bei der Construction der Augen angewandt. Siehe von den beiden in der Natur möglichen Arten des Sehorgans,

J. Mueller *vergleichende Physiologie des Gesichtssinnes. Leipz.* 1826. *p.* 307.



1. Der leuchtende Körper sei *A*, *C* sei die lichtempfindende Nervenhaut, *B* sei eine zwischen *A* und *C* befindliche undurchsichtige, oder für das Licht undurchdringliche Wand, nur der Punct *o* in dieser Wand sei offen und durchsichtig. Ausser dieser Oeffnung soll die Nervenhaut *C* von keiner Seite aus Licht erhalten und also ganz beschattet seyn. So werden die Lichtstrahlen von *a* durch *o* durchgehend nur in *a'* der Nervenhaut, die Lichtstrahlen von *b*, durch *o* durchgehend, nur in *b'* der Nervenhaut zur Erscheinung kommen, und jeder Punct des Körpers *a....b* wird in einer besondern Stelle der Nervenhaut *a'.....b'* repräsentirt seyn. Denn *a* und *b* in dem Körper *A* sind mathematische Puncte, *a'* und *b'* in der beleuchteten Nervenhaut sind kleine Flächen, die um so grösser seyn und das Bild desto undeutlicher machen werden, je grösser die Durchgangsöffnung *o* der Wand ist. Je kleiner *o* ist um so bestimmter wird zwar das Bild seyn, aber um so dunkler auch, denn um so dünner ist der Lichtkegel, der von jedem Puncte *a....b* des Körpers durch diese Oeffnung durchgeht. Vergl. über die optische Kammer Roget *animal and vegetable physiology. London* 1834. *II. p.* 451. Kunzek *die Lehre vom Lichte. Lemberg* 1836. *p.* 28. Die Natur hat von diesem Apparat zur Sonderung des Lichtes keinen Gebrauch gemacht, wahrscheinlich weil der Erfolg zu gering und die Intensität des Lichtes jedes Punctes nur durch Aufgeben der Deutlichkeit erlangt werden kann.

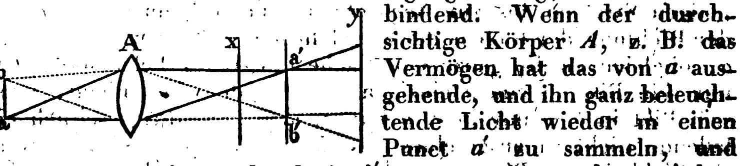
2. Die zweite Art der Sonderung der Lichtstrahlen zur Erzeugung eines Bildes auf der Nervenhaut, auf welche ich zuerst im Jahre 1826 in der Schrift zur Physiologie des Gesichtssinnes aufmerksam machte, ist diese. Vor der Nervenhaut stehen durchsichtige Kegel nebeneinander in ungeheurer Anzahl senkrecht auf, welche das in der Richtung ihrer Achse kommende Licht allein bis zur Nervenhaut gelangen lassen, alles seitlich in sie eintretende Licht, welches schief auf ihre Wände auffallen muss, absorbiren sie durch Pigmente womit ihre Wände bekleidet sind. *A* sei die Nervenhaut, welche von convexer Oberfläche sei, und die Oberfläche einer Kugel darstelle, die durchsichtigen Kegel *B* sollen in den Radien dieser Kugel



stehen. Das von a, b, c, d ausgehende Licht wird nur diejenigen Strahlen bis zur Nervenhaut senden können, welche in der Richtung der Radien der Kugel liegen. So entwirft der Punct a, obgleich er die ganze Oberfläche des Auges beleuchtet, doch nur sein Bild in einem einzigen Punct a der Nervenhaut, b nur sein Bild in b, c nur in c, d nur in d. Alles übrige seitlich einfallende Licht ist ausgeschlossen. Man sieht leicht ein, dass die Deutlichkeit des Bildes auf der Nervenhaut zunehmen muss, je mehr Kegel auf der Oberfläche der Nervenhaut gleich Radien stehen, und dass wenn 1000 Kegel vorhanden sind, auch 1000 Theilchen des Sehfeldes im Bilde repräsentirt sind, und wenn 10,000 durchsichtige Radien, die Deutlichkeit um das Zehnfache vervielfacht seyn wird. Diese Organisation, welche man sich durch Combination als mögliche Art des Sehorgans aufstellen konnte, fand ich in den zusammengesetzten Augen aller Insecten und Crustaceen verwirklicht. Es versteht sich von selbst, dass ein solches Sehorgan kugelig, oder ein Abschnitt einer Kugel seyn muss. Wenn seine Circumferenz sich flach einer ebenen Fläche nähert, so werden die äussersten Kegel am Rande des Organes auch wenig divergiren, und das Auge nur einem kleinen Theil der Aussenwelt entsprechen. Das Sehfeld wird aber in gleichem Grade mit der Convexität des Auges, oder mit der Grösse des Kugelabschnittes wachsen. Die Darstellung des Bildes in mehreren tausenden gesonderten Puncten, wovon jeder Punct einem Feldchen der Aussenwelt entspricht, gleicht einer Mosaik, und man kann sich aus einer kunstreichen Mosaik die beste Vorstellung von dem Bilde machen, welches die Geschöpfe, die solcher Organe theilhaftig sind, von der Aussenwelt erhalten werden. Ein Nachtheil bei einer solchen Art der Sonderung des Lichtes ist, dass die Quantität des Lichtes, welches von einem Puncte durch einen Kegel zur Nervenhaut kommt, so sehr gering ist. Indessen scheint, wie man beim Sehen bei einbrechender Dunkelheit bemerkt, auch bei uns zum einfachen Sehen ohne besondere Schärfe, selbst eine äusserst geringe Lichtmenge nöthig zu seyn, ein unendlich kleiner Theil des Lichtes, dem unser Auge am hellen Tage ausgesetzt ist, und auch bei uns kam es der Natur mehr darauf an, die Menge des Lichtes zu mässigen, als sie zu gestatten. Die kleinste Pupille ist beim hellen Tag noch zum Sehen hinreichend. Man kann diese Art lichtsondernder Apparate, musivische dioptrische Mittel, im Gegensatz der lichtsammelnden collectiven Mittel nennen.

3. Die vorher beschriebene Art der Isolirung des von verschiedenen Puncten ausgehenden Lichtes auf verschiedene Puncte des Organes, geschah durch Sonderung und Ausschliessung der Strahlen, welche hinderlich sind; auch durch Sammlung der von einem Puncte ausgehenden divergirenden Strahlen wieder in einen Punct ist die Isolirung und noch viel bestimmter, und mit grösserer Lichtstärke möglich. Nothwendig muss sich dann aber das empfindende Organ gerade an der Stelle befinden, wo die Strahlen wieder zu einem Puncte vereinigt sind, oder an der Spitze des Lichtkegels. Bei der vorhergehenden Art

des Sehens war keine solche Bedingung nöthig, hier wird sie bindend. Wenn der durchsichtige Körper *A*, z. B. das Vermögen hat das von *a* ausgehende, und ihn ganz beleuchtende Licht wieder in einen Punct *a'* zu sammeln, und



ebenso das von *b* ausgehende in *b'* zu sammeln, und von jedem Puncte zwischen *a* und *b* aber auch wieder zwischen *a'* und *b'* einen Punct zu entwerfen, so wird das vollkommenste Bild von *ab* in *a'b'* repräsentirt und wird gesehen werden, wenn sich die Nervenhaut in *a'b'* befindet. Dagegen wird das Bild durchaus unvollkommen seyn, wenn sich die Nervenhaut vor oder hinter *a'b'* z. B. in *x* oder *y* befindet. Denn in diesem Falle wird von *a* nicht ein Punct, sondern eine Fläche, von *b* und von jedem Punct *a*...*b* nicht ein entsprechender Punct, sondern ein Feld entworfen, und das Licht der einzelnen Puncte zu Zerstreuungsbildern zerstreut.

Körper, welche das Licht in jenem Sinne zu sammeln vermögen, sind die durchsichtigen das Licht brechenden Mittel, deren vollkommenste für das Sehorgan zweckmässigste Gestalt die linsenförmige ist, wie sich specieller sogleich ergeben wird.

Es ist hier der Ort einige falsche Vorstellungen zu widerlegen, die man sich hin und wieder aus Unkenntniss der zum Sehen nothwendigen physicalischen Bedingungen macht. Man stellt sich oft vor, dass es Thiere gebe, welche Lichtempfindung durch die Haut haben. Es ist nicht zu bezweifeln, dass manche niedere Thiere, welche gegen den Einfluss des Lichtprincips reagiren, keine Augen haben. Rapp (*Nov. act. acad. nat. Cur. XIV. p.* 2.) beobachtete, dass Veretillum cynomorium, ein Polyp, sehr sensibel gegen das Licht ist, dass er die dunkeln Orte liebt und sich im Lichte zusammenzieht. In Hinsicht der Hydren haben die Versuche von Trembley, Baker, Hanow, Roesel, Schaeffer, Bonnet, Goeze zu keinem bestimmten Resultat geführt. Ingenhouss und Goldfuss berichten, dass die priestleysche grüne Materie sich an hellen Orten anhäufe. Die grüne Materie, welche sich an hellen Orten anhäuft, mag wohl aus lebenden Infusorien bestehen, da viele eine grüne Farbe, manche sogar Augenpuncte haben, wie Ehrenberg beobachtet hat. Was man indess gewöhnlich grüne Materie von Priestley nennt, besteht oft nur aus den abgestorbenen Leibern grüner Infusorien, wie der Euglena viridis und anderer.

Was nun die Reaction niederer Thiere ohne Augen gegen das Licht betrifft, so liegen keine Thatsachen vor, welche beweisen, dass diese Thiere durch die Haut oder die ganze Oberfläche ihres Körpers vom Princip des Lichtstoffes, oder von den Undulationen dieses Princips wirklich die Lichtempfindung und nicht eine andere Empfindung haben. Wir empfinden vom Princip des Lichtes auch etwas durch die Haut, nämlich Wärme, aber wir haben keine Lichtempfindung davon, deren wenn wir den Thatsachen folgen wollen, nur der Sehnerve fähig ist. Von dieser Art mögen die Reactionen der niederen Thiere ohne Augen gegen

das Licht seyn. Selbst die Pflanzen reagiren stark genug dagegen, indem sie bei ihrer Ausbreitung es aufsuchen und ihm entgegen wachsen.

Die Nothwendigkeit besonderer Nerven mit specifischer Sensibilität zum Lichtempfinden, wird auch durch die wirkliche Existenz von Augen bei vielen der niedersten Thiere erwiesen. Viele Anneliden, wie mehrere Nereiden, mehrere Arten Eunice, Phyllodoce, Spio, Nais, fast alle Hirudineen, Aphrodite heptacera haben dunkle Augenpunkte am Kopfe. Eine den Sabellen zunächst stehende, von Ehrenberg, Henle und mir beobachtete Gattung hat zwei solche dunkle Puncte am hintern und vordern Ende des Körpers. Sie kriecht rückwärts und vorwärts. Hirudo medicinalis hat wie E. H. Weber zeigte, zehn dunkle Augenpunkte am Kopfe, die man beim Embryo des Thiers von dem noch durchsichtigen Körper deutlich unterscheidet. Die Planarien haben durch Pigment ausgezeichnete Augenflecke am Kopfe. Bei mehreren Cercarien und Rotiferen sind dergleichen Augenpuncte von Nitzsch, Dutrochet, Gruithuisen, Ehrenberg beobachtet. Der letztere Forscher hat die Existenz solcher Pigmente oder Augenpuncte bei vielen Infusorien, und auch bei den Seesternen am Ende ihrer Strahlen, welche sie beim Schwimmen erheben, entdeckt, ja sogar bei den Medusen die gleiche Bedeutung der Pigmentorgane am Rande der Scheibe wahrscheinlich gemacht. Mueller's *Archiv* 1834. Bei den Anneliden sind die Sehnerven in jenen Augenpuncten von mir nachgewiesen worden. (*Ann. d. sc. nat. XXII.* 19.). Und Ehrenberg hat gezeigt, dass die Nerven der Strahlen der Asterien bis zu den Augenpuncten am Ende der Strahlen hingehen.

Gruithuisen (*Isis* 1820. 251.) nimmt an, dass jede dunkle Stelle der Haut einigermassen mit der Natur eines Sehorganes in Beziehung stehe, weil sie mehr Licht absorbirt. Dies ist offenbar unrichtig; denn die erste Bedingung zum Sehen ist die specifische Sensibilität des Nerven und dass der zum Sehen dienende Nerve kein Gefühlsnerve sei.

Ferner beweist gerade der Bau der Augen bei den Würmern, dass selbst zum einfachen Unterscheiden des Tages von der Nacht noch ein besonderer Nerve und ein Organ nöthig ist. Denn nach meinen Untersuchungen über den Bau der Augen bei den Anneliden geht hervor, dass die Augen dieser Thiere durchaus keine optischen Werkzeuge für die Sonderung des Lichtes enthalten, und also auch nichts Bestimmtes unterscheiden können. Innerhalb der becherförmigen Choroidea, der von mir untersuchten Nereis-Art ist keine Linse und keine Spur der lichtsondernden Organe der Insecten enthalten. Vielmehr ist der von der Choroidea umgebene Körper nur der Bulbus nervi optici selbst. Die Natur hat also, wo es auf die blosse Unterscheidung von Tag und Nacht ankommt, noch Organe dazu gebildet, und diese Bedeutung mögen wohl auch die Augenpunkte der Planarien, Asterien, Rotiferen und Infusorien haben.

Eine zweite kritische Bemerkung, die wir hier machen müssen, betrifft die aus Unkenntniss der physikalischen Bedingungen zum

Sehen vorkommende Meinung, als wäre auch beim Menschen durch die Haut, vermöge einer gesteigerten oder veränderten (versetzten) Empfindung, ein Sehen möglich.

Es ist bekannt, dass man mit den Fingern die Farben nicht als Farben erkennen kann, wenn es auch möglich seyn mag die Gefühlseindrücke des Corpus oder Korns einiger stark aufgetragenen Farbestoffe zu unterscheiden, da sie uneben sind und Adhäsion zu den berührenden Theilen haben. Die Nothwendigkeit lichtsondernder, optischer Apparate, musivischer oder collectiver Art zur Erzeugung eines Bildes auf einer empfindenden Haut widerlegt hinlänglich das Sehen auf der Herzgrube, oder mit den Fingern in sogenannten thierisch magnetischen Zuständen. Selbst wenn die Haut der Herzgrube oder der Finger das Vermögen der Lichtempfindung hätte, was sie nicht haben, so würde doch noch kein Sehen statt finden können, wenn keine Apparate vorhanden wären, das von verschiedenen Puncten a, b, c, d — n eines Objectes kommende Licht, auch wieder auf Puncten a, b, c, d — n der empfindenden Fläche zur Erscheinung zu bringen. Und ohne solche Apparate, würden die Herzgrube und die Finger, wenn sie auch das Vermögen der Lichtempfindung besässen, nichts Anderes als den Tag von der Nacht unterscheiden können. Da aber diese Theile überhaupt keiner Lichtempfindung fähig sind, und sich keinerlei Empfindung versetzen kann, so ist in keinem Falle bei einem sogenannten Magnetischen auch nur eine vage Unterscheidung des Tags von der Nacht durch jene Theile möglich, und es geschieht dieselbe nur durch die Augen, die auch, wenn sie verbunden sind, leicht noch recht gut den Tag sehen, ja unter sich recht gut die Objecte sehen, wie jedem bekannt ist, der einmal blinde Kuh gespielt hat. Liegt man gar horizontal mit verbundenen Augen, wie die sogenannten Magnetischen in ihrem sogenannten Schlaf, so kann man mit verbundenen Augen ein ganzes Zimmer unter der Binde überschauen. Welcher gebildete Arzt möchte nun wohl solche Mährchen glauben? Vom Stand der Wissenschaft lässt sich recht gut einsehen, dass ein Schlafender ein Gesichtsphantasma hat, wie man sie bei geschlossenen Augen schon vor dem Einschlafen erlebt; denn die Sehnerven können so gut von innen, wie von aussen zur Empfindung gereizt werden; und so lange eine sogenannte Magnetische nichts Anderes zeigt als die gewöhnlichen Nervensymptome, wie sie auch in anderen Nervenkrankheiten vorkommen, ist alles glaubhaft; sobald aber eine solche durch eine Binde vor den Augen, oder durch die Finger, oder durch den Magen sehen will, um die Ecke und in des Nachbars Haus sieht, prophetisch wird, so verdient ein so arger Betrug keine Schonung mehr, und die offene und derbe Erklärung des Betrugs und Possenspiels ist dann passender, als die Bewunderung.

b. Von den physicalischen Bedingungen der Bilder durch brechende Mittel.

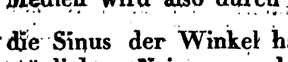
Die Wichtigkeit der Lehre von der Refraction des Lichtes für die Erörterung des Sehens beim Menschen und den Thieren,

deren Sehorgane auf der Benutzung brechender Mittel beruhen, macht es nothwendig die Hauptsätze der Lehre von der Refraction des Lichtes in Erinnerung zu bringen. In dem Folgenden habe ich die bewährtesten physikalischen Werke über diese Gegenstände benutzt. Ich beziehe mich auf die Schriften von PORTERFIELD, PRIESTLEY, FISCHER, BIOT, KUNZEK, BRANDES. Besonders wichtig ist PORTERFIELD *a treatise on the eye, the manner and phaenomena of vision. 2 Vol. Edinb.* 1759.

Wenn Lichtstrahlen aus dem leeren Raume in einen durchsichtigen Körper, oder aus einem dünnern Medium in ein dichteres übergehen, und senkrecht auf der Fläche des zweiten Mediums einfallen, so gehen sie in derselben Richtung fort, wenn sie aber in einer von der senkrechten Richtung abweichenden Richtung auf die Einfallsebend des zweiten Mediums einfallen. so wird ihre Richtung durch das zweite Medium verändert, und der geradlinig bleibende Strahl wird dem Einfallsloth zugelenkt. So wenn *AB* die Einfallsebene des dichteren Mediums *C* ist, so wird der Lichtstrahl *ab*, statt in der Richtung *bc* fortzugehen, dem Perpendikel *de* zugelenkt, und in der Richtung *bf* im dichteren Medium fortgehen.

Wenn hingegen der Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Körper schief in den leeren Raum, oder aus einem dichteren Körper in einen dünnern übergeht, so wird er vom Perpendikel abgelenkt, und statt in der Richtung *bc* fortzugehen, die Richtung *bg* verfolgen.

Der einfallende, der gebrochene Strahl und das Einfallsloth liegen übrigens in derselben Ebene. Heisst der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl *ab* und dem Einfallsloth *db*, der Einfallswinkel, der Winkel zwischen dem gebrochenen Strahl *bf* und dem Einfallsloth *be* der Brechungswinkel, so ist *ax* der Sinus des Einfallswinkels, *fg* der Sinus des Brechungswinkels. Die Erfahrung hat gelehrt, dass wenn die beiden Mittel dieselben bleiben, das Verhältniss zwischen dem Sinus des Einfallswinkels α zum Sinus des Brechungswinkels β unveränderlich dasselbe bleibt, mag die Neigung des einfallenden Strahls gegen das brechende Mittel gross oder klein seyn. Das Brechungsverhältniss zweier

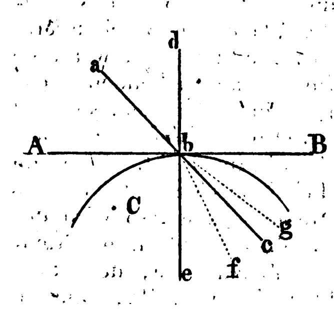


Medien wird also durch $\frac{\text{Sin.}\,\alpha}{\text{Sin.}\,\beta}$ ausgedrückt. Nicht die Winkel, nur die Sinus der Winkel haben diess gleiche Verhältniss bei allen möglichen Neigungen des einfallenden Strahles zum brechenden Mittel; indess ist es, so lange die Winkel wie bei den Centralstrahlen



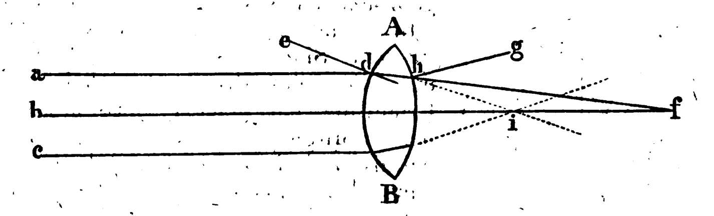
der Linsen klein sind, keine erhebliche Unrichtigkeit, auch das Verhältniss der Winkel als beständig anzunehmen. Das Brechungsverhältniss von Luft und Wasser ist $\frac{4}{3}$, von Luft und gemeinem Glas $\frac{3}{2}$. Das Brechungsvermögen der Körper hängt übrigens nicht bloss von der Dichtigkeit derselben, sondern auch von ihrer Brennbarkeit ab.

Da eine krumme Fläche des brechenden Mediums aus unendlich vielen geraden Flächen zusammengesetzt gedacht werden kann, so kann bei einem, auf einer krummen Fläche des brechenden Mediums *C*, einfallenden Lichtstrahl *ab*, die Tangente *AB* als Einfallsebene angesehen werden, und das Einfallsloth, nach welchem der Lichtstrahl durch das brechende Mittel zugelenkt wird, ist hier der die Tangente im Berührungspunkte der Curve treffende Perpendikel *de*. So wird der Lichtstrahl *ab* durch das brechende dichtere Mittel dem Perpendikel *de* zugelenkt, und die Richtung *bf* verfolgen, durch das dünnere Mittel vom Perpendikel *de* abgelenkt und die Richtung *bg* verfolgen.



Für die Lehre vom Sehen wird nun die Kenntniss der Lichtbrechung in sphärischen Linsen von Wichtigkeit. Denn diese Körper sind unter gewissen Umständen fähig, die von einem Puncte ausgehenden Lichtstrahlen, wieder in einen Punct zu vereinigen, und dadurch ein Bild des Punctes zu entwerfen.

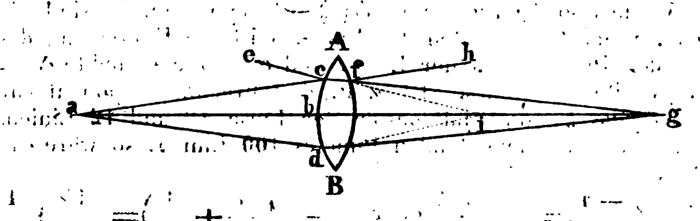
Fallen Lichtstrahlen parallel, oder von einem leuchtenden Puncte aus unendlicher Entfernung auf einer ebenen Brechungsfläche ein, so werden sie zwar (bei schiefem Einfall) gebrochen, aber ihr Parallelismus kann nicht verändert werden, fallen aber parallele Lichtstrahlen auf eine Linse mit sphärischer Oberfläche ein, so werden sie gesammelt, oder in convergirende Richtung gebracht.



a, *b*, *c* seien parallele Lichtstrahlen, *b* sei der Achsenstrahl der Linse *AB*, dieser wird ohne Brechung durch die Linse *AB* durchgehen, die übrigen, welche schief auffallen und schief austreten, werden gebrochen, der Lichtstrahl *a* wird dem Einfallsloth *ed* zugelenkt, und durch die Linse den Weg *df* nehmen; aber er wird zum zweiten Mal beim Austritt aus der Linse in ein dünneres Medium gebrochen; beim Austritt ist *hg* das Einfallsloth, der Strahl wird beim Uebergang ins dünnere Medium vom Einfallsloth abgelenkt, und

also dem Achsenstrahl *bf* noch mehr zugelenkt, die Richtung *hi* nehmen. Sind die Strahlen *a* und *c* gleichweit vom Achsenstrahl *b* entfernt, so wird sich die Brechung des Strahls *c*, ganz so wie des Strahls *a* verhalten, d. h. beide Strahlen werden den Achsenstrahl nach dem Austritt aus der Linse an irgend einer Stelle *i* schneiden, in diesem Puncte sind alle drei Strahlen vereinigt, über den Punct hinaus divergiren sie wieder. Da nun, was von *a* und *c* gilt, von allen parallelen Strahlen gelten muss, die gleichweit vom Achsenstrahl entfernt, mit diesem auf die Linse einfallen, so werden alle diese Strahlen in dem gemeinsamen Puncte *i* sich schneiden, den man den **Brennpunct** der Linse nennt. Die Distanz des Brennpunctes paralleler Strahlen von der Linse hängt von dem Brechungsvermögen der Linsensubstanz überhaupt, und von der Convexität ihrer beiden Flächen ab; natürlich wird dieser Punct der Linse um so näher seyn müssen, je convexer ceteris paribus ihre beiden Flächen sind.

Kommen die Strahlen aus dem Brennpuncte der Linse, so werden sie durch die Linse so gebrochen, dass sie parallel fortgehen. Aus diesem Satze und dem vorhergehenden, ergiebt sich schon, dass wenn die Lichtstrahlen aus einem Puncte kommen, der weiter von der Linse entfernt ist, als der Brennpunct, aber nicht so weit als eine unendliche Entfernung (parallele Strahlen), sie weder im Brennpuncte der Linse, noch auch in unendlicher Entfernung zur Vereinigung kommen können. Vielmehr ist dann der Punct ihrer Vereinigung zwischen dem Brennpunct und der unendlichen Entfernung gelegen, und je näher der leuchtende Punct der Brennweite der Linse kommt, um so weiter wird der Vereinigungspunct der Lichtstrahlen hinter der Linse seyn, und sich dem Parallelismus nähern; je weiter aber der leuchtende Punct sich von der Brennweite der Linse entfernt, um so mehr wird die Distanz der Vereinigung der Lichtstrahlen abnehmen, bis diese Vereinigung wieder bei unendlicher Entfernung des leuchtenden Punctes, (parallele Strahlen) in den Brennpunct der Linse fällt.



a sei der leuchtende Punct, der weiter von der Linse entfernt sei, als die Brennweite der Linse beträgt, *AB* die Linse, so wird der Achsenstrahl *ab* ungebrochen durchgehen. *ac* wird zwei Mal gebrochen, an der vordern und hintern Fläche der Linse; an der vordern wird der Lichtstrahl *ac* dem Einfallsloth *ec* zugelenkt, und in der Richtung *cg* fortgehen, bei *f* wird der Strahl zum zweiten Mal gebrochen, und beim Uebergang in das dünnere Medium vom Einfallsloth *fh* abgelenkt, d. h. die Richtung *fi* nehmen. Wenn $bc = bd$, so ist die Brechung des Lichtstrahls *ad* ganz

dieselbe, wie die von *ac*, und beide werden in demselben Puncte *i* den Achsenstrahl schneiden. Auch gilt dasselbe von allen Strahlen des Punctes *a*, die gleichweit wie *ac* und *ad* vom Achsenstrahl entfernt sind, *acd* kann also als die Peripherie eines Kegels angesehen werden, welche Peripherie von Lichtstrahlen gebildet wird, die alle ihre Vereinigung in *i* haben. Die Entfernung des Punctes *i* von der Linse heisst die Vereinigungsweite des Bildes, welche wohl von der Brennweite unterschieden werden muss. Die Brennweite ist die Vereinigungsweite von parallelen Strahlen. Divergirende Strahlen haben ihre Vereinigungsweite immer hinter dem Brennpuncte, und die Vereinigungsweite entfernt sich um so mehr von der Brennweite, je näher der leuchtende Punct der Linse kommt.

Die Vereinigungsweite des Bildes hängt ab 1) von dem Brechungsverhältniss der Linse zum Medium vor der Linse (n : 1), 2) von der Convexität beider Flächen der Linse, die durch die Grösse der Halbmesser der Kugeln ausgedrückt wird, zu welcher die Convexitäten gehören; 3) von der Entfernung des Gegenstandes. Sind diese drei Puncte bekannt, so lässt sich die Vereinigungsweite des Bildes für jede Entfernung des Gegenstandes berechnen. Wie eine Gleichung zwischen den Halbmessern der Linse, dem Brechungsverhältnisse derselben, der Distanz des Objectes und der Vereinigungsweite gefunden werde, diess auszuführen gehört nicht eigentlich hieher, und muss ich in dieser Hinsicht auf die Lehrbücher der Physik verweisen. Siehe z. B. Fischer *Lehrb. d. mechan. Naturlehre. II. p.* 211. und Kunzek *die Lehre vom Lichte. Lemberg* 1836. 115. Die Gleichung zwischen den genannten Grössen ist:

$$\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

$\frac{n}{1}$ ist das Brechungsverhältniss oder das Verhältniss des Einfallswinkels zum Brechungswinkel. Z. B. für Luft und Glas $\frac{3}{2}$. n—1 würde also für Luft und Glas $\frac{3}{2}-1$ seyn, *f* und g sind die Halbmesser der Convexitäten der Linse, a ist die Entfernung des leuchtenden Punctes von der Linse, und α ist die gesuchte Vereinigungsweite des Bildes. Ist z. B. der Brechungsexponent für Luft und Glas $\frac{3}{2}$, die Halbmesser der Linse 10 und 12 Linien, die Entfernung des leuchtenden Punctes 100 Linien, so wäre die Gleichung

$$\frac{\frac{3}{2}-1}{10} + \frac{\frac{3}{2}-1}{12} = \frac{1}{100} + \frac{1}{x} \text{ oder } \frac{3}{2} - 1\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{12}\right) = \frac{1}{100} + \frac{1}{x}$$

Aus der Formel $\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ ergiebt sich auch die Vereinigungsweite für parallele Strahlen. Da bei parallelen Strahlen die Entfernung des leuchtenden Punctes unendlich ist, so ist $\frac{1}{a} = o$; daher ist, wenn a unendlich gross ist, $\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{\alpha}$ oder wenn die Vereinigungsweite für divergirende

Strahlen vorzugsweise *d* genannt bleiben soll, so ist die Brennweite einer Linse in der Formel $\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{p}$ bestimmt.

Aus der Verbindung der Formel für die Vereinigungsweite $\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ und der Formel für die Brennweite $\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{p}$ ergiebt sich eine noch einfachere Grundformel für optische Bestimmungen. Denn da die erste Seite beider Gleichungen dieselbe ist, so ist $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$. Hier ist p die Brennweite der Linse, a die Entfernung des leuchtenden Punctes, α die Vereinigungsweite des Bildes, und so lässt sich also die Vereinigungsweite für jede Entfernung des leuchtenden Punctes leicht aus der Brennweite der Linse, und der Entfernung des leuchtenden Punctes finden. Aus der letzten Gleichung ergiebt sich $\alpha = \frac{ap}{a-p}$

Die Vereinigungsweite des Bildes eines leuchtenden Punctes wird also gefunden, wenn man das Product aus der Entfernung des Objectes von der Linse, und der Brennweite der Linse durch die Differenz beider dividirt. Siehe das Nähere in Fischer's *mechanischer Naturlehre.* 2. 213.

Befindet sich die Wand, welche das Bild auffängt, nicht in der Vereinigungsweite, so wird natürlich statt des leuchtenden Punctes, ein Zerstreuungskreis, oder der Durchschnitt eines Lichtkegels dargestellt, und diess wird sich gleich bleiben, mag die auffangende Wand vor oder hinter der Vereinigungsweite sich befinden. Im ersten Falle haben sich die Strahlen des Lichtkegels noch nicht vereinigt, im letzten Falle, weichen sie nach der Vereinigung wieder kegelförmig auseinander.

Bisher ist bloss die Brechung der Linsen für den Fall betrachtet worden, dass der Gegenstand ein leuchtender Punct ist. Hat der leuchtende Gegenstand Ausdehnung, und liegen die leuchtenden Puncte desselben in einer Ebene, die senkrecht auf der Verlängerung der Achse der Linse steht, so liegen ihre Bilder auch in umgekehrter Ordnung in einer solchen Ebene. Ist *ab* der Gegenstand, so wird der von *a* ausgehende Strahlenkegel nach *α* gebrochen und kömmt dort zur Vereinigung, der von *b* ausgehende Strahlenkegel wird nach *β* gebrochen, und vereinigt sich in *β* zu einem leuchtenden Puncte, und in gleicher Ordnung die übrigen. Das Bild hat die umgekehrte Lage des Objectes, das obere ist unten, das untere oben, das rechte links, das linke rechts, während die relative Lage der einzelnen Theile des Bildes ganz die

selbe bleibt. Der mittlere Strahl des Lichtkegels *aa* und *bβ* heisst der Hauptstrahl, weil er nicht oder fast nicht verändert wird, wie der Achsenstrahl bei einem in der Achse der Linse liegenden leuchtenden Puncte. Die übrigen Strahlen des Kegels convergiren gegen denselben nach der Brechung, und das Bild des Punctes entwirft sich also jedenfalls in der Richtung des Hauptstrahls, dieser Strahl bestimmt also die Lage des Punctes im Bilde, und die Hauptstrahlen der Lichtkegel der einzelnen Puncte bestimmen auch die Grösse des Bildes.

Die Stellen, wo sich die Strahlen der von der Achse abgelegenen Punkte wieder vereinigen, lässt sich durch Berechnung finden, und aus ihrer Bestimmung ergiebt sich, dass wenn der ausserhalb der Achse liegende Punct der letztern nahe ist, so dass die auf die Linse fallenden Strahlen nur kleine Winkel mit der Achse bilden, die einzelnen Puncte des Bildes in einer mit dem Objecte parallelen geraden Ebene liegen.

Gregory (Priestley's *Geschichte der Optik* 162.) wollte bemerkt haben, dass durch ein sphärisches Linsenglas das Bild einer, auf die Achse senkrecht stehenden Figur nicht wieder eben, sondern gekrümmt und zwar gegen das Glas hohl sei, und dass wenn das Bild eben seyn soll, die Flächen des Glases nach der Figur eines Kegelschnittes geschliffen seyn müssten. Priestley giebt diess zu und bemerkt dann, dass den daraus entstehende Fehler unmerklich sei, weil die Flächen der Gläser nur sehr kleine Kugelstücke sind. Kaestner bemerkt indess hierzu, dass wenn man die Abweichung der Strahlen von dem Vereinigungspuncte nicht beachte, d. h. wenn man die Winkel ihren Sinus proportional setze, die schärfste unter dieser Voraussetzung angestellte Rechnung, keine Krümmung des Bildes einer ebenen Figur entdecke; derselbe hat eine solche Rechnung im 2. *Bd. der deutschen Schriften der Götting. Gesellschaft der Wissenschaften* geliefert. Dass die Ebene des Bildes der Ebene des Objectes parallel ist, wenn diese senkrecht auf die Achse der Linse gerichtet ist, ist übrigens eine Erfahrungsthatsache. Für geringe Ausdehnung des Bildes, ist auch der mathematische Beweis des Satzes nicht schwierig, und ist in den ausführlichen physikalischen Lehrbüchern mit mathematischer Behandlung gegeben. Kunzek *Lehre vom Lichte.* 120.

Optischer Mittelpunct der Linsen.

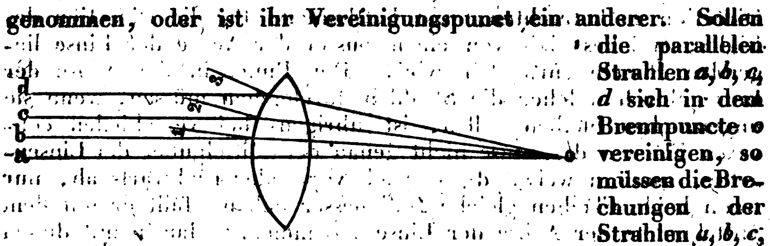
Insofern die beiden Flächen einer Linse, nahe dem Durchgang der Achse, parallel, oder so gut als parallel sind, werden Strahlen, welche durch die Mitte der Achse einer Linse schief durchgehen, wenn ihr Ein- und Austritt innerhalb des parallelen Theils beider Flächen der Linse geschieht, von der Direction, die sie beim Einfallen der Linse hatten, nach dem Austritt nicht abweichen. Ihre Brechung verhält sich so, wie bei schief auffallenden Strahlen durch eine Glasplatte mit ganz parallelen Flächen. So viel der Strahl beim Eintritt in das Glas dem Einfallsloth zugelenkt wird, um ebenso viel wird er beim Austritt abgelenkt; er behält also seine Direction. Daher ist eben der mittlere Strahl eines mässig schief auffallenden Strahlenkegels, welcher durch die Mitte der Achse der Linse durchgeht, als unverändert in seiner

Direction zu betrachten, und bestimmend für die Direction des Bildes, welches sich von einem ausser der Achse der Linse liegenden Puncte entwerfen wird. Der Punct in der Achse der Linse, durch welchen die Strahlen durchgehen müssen, wenn sie ungebrochen bleiben sollen, ist übrigens bei verschieden convexen Flächen der Linse nicht genau der Mittelpunct der Linsenachse, sondern weicht davon nach vor- oder rückwärts ab, nur wenn beide Flächen gleiche Halbmesser haben, fällt er mit dem Mittelpuncte der Achse der Linse zusammen. Man nennt diesen Punct den optischen Mittelpunct der Linse. Zum bessern Verständniss der Untersuchung des Sehens führe ich hier die Bestimmung dieses Punktes an, so wie sie von Fischer *a. a. O.* 217 gegeben wird. *n* sei der Mittelpunct der vordern Fläche der Linse, d. h. der Kugel, zu welcher sie gehört, *m* der Mittelpunkt der hintern Fläche der Linse. *a* ist ein beliebiger Punct der vordern Fläche, so ist *an* der Radius dieser Fläche. Die von dem Mittelpunkte der andern Fläche *m* gezogene Linie *mb* sei parallel mit *an*. Die Linie *ab* schneidet die Achse der Linse in *c*, und *c* ist der optische Mittelpunct der Linse. Denn da *an* und *mb* parallel sind, so die Winkel *nab* und *mba* gleich. Wenn *ab* ein Lichtstrahl, so ist der Winkel, den er mit dem Einfallsloth *an* macht, gleich dem Winkel, den er mit dem Einfallsloth *mb* macht. Zu dem Brechungswinkel *nab*, verhält sich der Einfallswinkel aus der Luft in das Glas, ebenso wie zu dem Einfallswinkel *mba*, der Ablenkungswinkel aus dem Glase in die Luft, folglich ist der Einfallswinkel in das Glas, dem Ablenkungswinkel aus dem Glase in die Luft gleich, und daher bleibt sich der einfallende und ausfallende Strahl parallel, und der Strahl muss als ungebrochen betrachtet werden. Ist die Linse doppelt convex, aber ungleichseitig, so liegt der optische Mittelpunct näher der convexern Fläche.

Abweichung, Aberration wegen der Sphäricität.

Bisher wurde hauptsächlich nur die Brechung der durch den mittlern Theil der Linse durchgehenden Strahlen berücksichtigt, nun muss auch das Verhalten der durch den Randtheil der Linse durchgehenden Strahlen und ihr Verhältniss zum Vereinigungspunct betrachtet werden. Welches auch die Gestalt einer sphärischen, planconvexen oder biconvexen Linse seyn mag, in jedem Fall werden diejenigen parallelen Strahlen, die gleichweit von der Achse der Linse entfernt in sie eintreten, sich in demselben Punct vereinigen. Denn ihre Eintritts- und Brechungswinkel sind gleich; ebenso werden sich von einem Lichtkegel, dessen Achse durch die Achse einer Linse durchgeht, jedesmal diejenigen, in einem Kreis die Linse treffenden Strahlen wieder in einen Punct vereinigen, welche gleichweit von der Achse der Linse entfernt in sie eintreten. Wie verhalten sich aber die übrigen Strahlen eines Lichtkegels, werden sie auch in denselben Vereinigungspunct auf-

genommen, oder ist ihr Vereinigungspunct ein anderer. Sollen die parallelen Strahlen a, b, c, d sich in dem Brennpuncte o vereinigen, so müssen die Brechungen der Strahlen a, b, c, d zunehmen, je weiter entfernt diese Strahlen von der Achse einfallen. In der That nehmen auch bei dem convexen Mittel die Einfallswinkel 1, 2, 3 mit der Entfernung der Strahlen b, c, d von der Achse a zu. Zur Vereinigung paralleler Strahlen in einem Brennpunct sind also gekrümmte Flächen des brechenden Körpers nöthig.

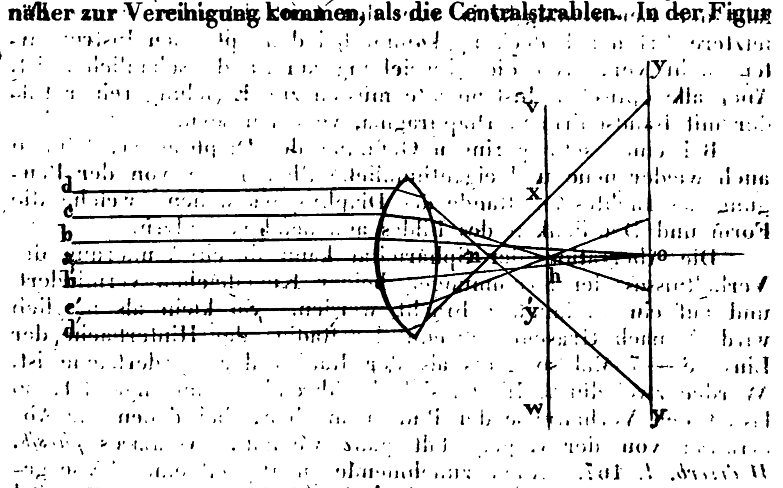


Es fragt sich nun aber, in welchem Verhältniss müssen die Brechungswinkel paralleler Strahlen von der Achse bis zum Rande der Linse wachsen, wenn sie sich in einem einzigen Puncte vereinigen sollen, oder mit anderen Worten, von welcher Art müssen die Curven der Linsenflächen für diesen Zweck seyn. Erfahrung und Berechnung zeigen, dass Kugeloberflächen der Linsen diesen Zweck nicht vollkommen erreichen, und dass die Curven, welche zu einer vollkommen scharfen Vereinigung der Lichtstrahlen in einen Punct nöthig sind, von der Kugelgestalt abweichen. Aber Linsen ohne sphärische Oberflächen sind nicht durch Schleifen zu erzielen. Bei der Kugelgestalt der Linsenoberflächen nimmt die Brechung der Randstrahlen schneller zu, als es geschehen sollte, wenn die Vereinigung aller Centralstrahlen und Randstrahlen in einem Punct geschehen könnte. Diess nennt man die Abweichung, Aberration der Lichtstrahlen wegen der Kugelgestalt, Aberration de sphaericité. Die Vereinigungspuncte sind vielmehr verschieden für alle Strahlenkreise vom Centrum bis zum Rande, und die Vereinigungspuncte rücken um so weiter vorwärts gegen die Linse, je weiter die Kreise werden, oder mehr Randstrahlen zugelassen werden. Ueber die mathematische Untersuchung dieses Gegenstandes siehe Gehler's *physik. Wörterb. VI. I.* 396.

Ein mathematischer Beweis dieser Erfahrung, der leicht verständlich wäre, ist mir nicht bekannt, daher dieser Gegenstand hier füglicher empirisch hingestellt wird, wie es auch von Biot in seiner Experimentalphysik geschehen, und gewöhnlich in den physikalischen Lehrbüchern geschieht. Kunzek sucht zwar durch eine geometrische Deduction die Abweichung der Lichtstrahlen wegen der Kugelgestalt begreiflich zu machen, allein diese verfehlt offenbar ihren Zweck. Er zeigt, welche Aenderung die Lichtstrahlen durch ein Prisma erleiden, wenn man den brechenden Winkel des Prisma vergrössert. Eine sphärische Linse sei aber als ein Prisma zu betrachten, dessen brechender Winkel an der Achse gleich Null ist, von da an aber bis zum Rande der Linse symmetrisch zu jeder Seite der Achse zunehme. Weil nun der durch ein Prisma gehende Lichtstrahl, eine desto grössere Ablenkung von seiner ursprünglichen Richtung erleide, je mehr der

brechende Winkel des Prisma vergrössert wird, und weil die Linse ein Prisma ist, dessen brechender Winkel von der Achse gegen die Ränder der Linse zunehme, so müssen auch diejenigen Strahlen, welche die Linse in einem weitern Abstande von der Achse treffen, mehr von ihrer Richtung abgelenkt werden, und daher die Achse früher schneiden als die Centralstrahlen, a. a. O. p. 127. Das letztere, was bewiesen werden sollte, folgt keineswegs aus der ganzen Deduction. Denn bei einer vollständigen Vereinigung, sowohl der Centralstrahlen als Randstrahlen in einem Punct, müssen die Ablenkungswinkel der Strahlen von ihrer Richtung bis zum Rande auch wachsen. Denn würden sie nicht wachsen, so würden die parallel einfallenden Lichtstrahlen zwar gebrochen, aber in unveränderter Richtung parallel fortgehen, d. h. die Linse wäre dann ein Prisma, dessen Brechungswinkel nicht gegen den Rand zunehmen, sondern bleiben; die Linse wäre keine Linse, sondern ein einfaches Prisma. Es hängt nur von der Art dieses Wachsthums oder von der Form der Curve ab, ob die Randstrahlen und Centralstrahlen sich in einem Punct vereinigen oder nicht.

Für unsern Zweck ist es genug bei der empirischen Thatsache stehen zu bleiben, dass die Randstrahlen einer Linse mit Kugelflächen näher zur Vereinigung kommen, als die Centralstrahlen. In der Figur



seien die Strahlen d c b a b' c' d' parallel. Die Strahlen b und b' werden, da sie gleichweit von der Achse a entfernt sind, und die Brechung in der Nähe der Achse sehr gering ist, am weitesten von der Linse in einem Punct o die Achse schneiden; die weiter von der Achse ensfernten Strahlen c und c' werden sich in h, die am weitesten entfernten Strahlen d und d', in n vereinigen und kreuzen. Befindet sich in o eine das Licht aufnehmende Fläche, so wird nicht bloss der Brennpunct der Centralstrahlen, sondern auch ein Zerstreuungskreis aller übrigen Strahlen entstehen, welche ihren Brennpunct nicht in o, sondern in h, n und anderen Puncten der Achse ao haben, yy wird der Durchmesser dieses Zerstreuungskreises seyn. Befindet sich die Wand

in h, so erscheint dort der Brennpunct der Strahlen $c\ c'$ mit dem Zerstreuungskreis $x'\ y'$ u. s. w.

Sind die Strahlen d, c, b, a, b', c', d' nicht parallel, sondern der Basaltheil eines Lichtkegels von endlicher Entfernung, so giebt es auch wieder keine Sammlung in einen Punct, und auf der Wand werden sich auch jedesmal, ausser einem bestimmten Vereinigungspunct gewisser Strahlen, die Zerstreuungskreise der andern Strahlen zeigen. Können die Strahlen auf den Centraltheil und Randtheil der Linse zugleich einfallen, so werden die Zerstreuungskreise natürlich am stärksten hervortreten, mag die Wand sich in *ow* oder *yy* befinden; denn jedesmal werden dann ausser dem Vereinigungspunct bestimmter Strahlen, die Zerstreuungen aller übrigen zur Erscheinung kommen. Können aber die Randstrahlen abgehalten werden, und werden nur die Centralstrahlen zugelassen, so fällt, wenn die Wand sich im Vereinigungspuncte der Centralstrahlen *o* befindet, der ganze Zerstreuungskreis aller übrigen Strahlen *xy* weg, und das Bild ist rein. Diess wird durch Bedeckung des Randtheils der Linse, durch einen ringförmigen Schirm, Diaphragma bewirkt. Ebenso wird das Bild rein werden, wenn das Licht bloss durch den Randtheil der Linse durchgeht und der Centraltheil bedeckt wird, denn dann fällt der Zerstreuungskreis von den Centralstrahlen weg. Die letztere Art der Bedeckung kömmt bei den optischen Instrumenten nicht vor, weil die Abweichung am Rande schädlicher ist. Aber alle optischen Instrumente müssen zur Erzielung reiner Bilder mit Randschirmen, Diaphragma, versehen seyn.

Bei einer sehr geringen Oeffnung des Diaphragma, können auch wieder neue und eigenthümliche Phänomene von der Beugung des Lichtes am Rande des Diaphragma stehen, welche die Form und Deutlichkeit des Bildes auffallend verändern.

Die Aberration der Sphäricität kann durch Aenderung des Verhältnisses der Krümmungen beider Kugelflächen vermindert, und auf ein Minimum gebracht werden. So klein als möglich wird sie nach Herschel, wenn der Radius der Hinterfläche der Linse 6 — 7 Mal so gross als der Radius der Vorderfläche ist. Werden zwei dünne Linsen sich berührend zusammengesetzt, so lassen sich Verhältnisse der Radien angeben, bei denen die Aberration von der Kugelgestalt ganz wegfällt. Gehler's *physik. Wörterb. I.* 167. Auch zunehmende Dichtigkeit einer Linse gegen ihre Mitte muss die Aberration vermindern. Denn dann wird die Brennweite der Centralstrahlen verkürzt und der kürzern Brennweite der Randstrahlen genähert. Linsen, deren Aberration vermieden wird, heissen aplanatische.

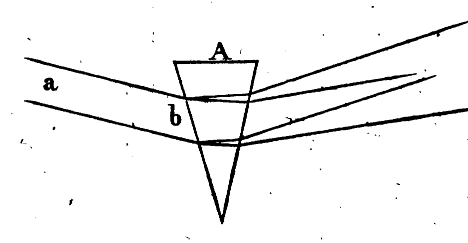
c. Von den physicalischen Bedingungen der Farben.

1. Dioptrische Farben. Newton'sche Farbenlehre.

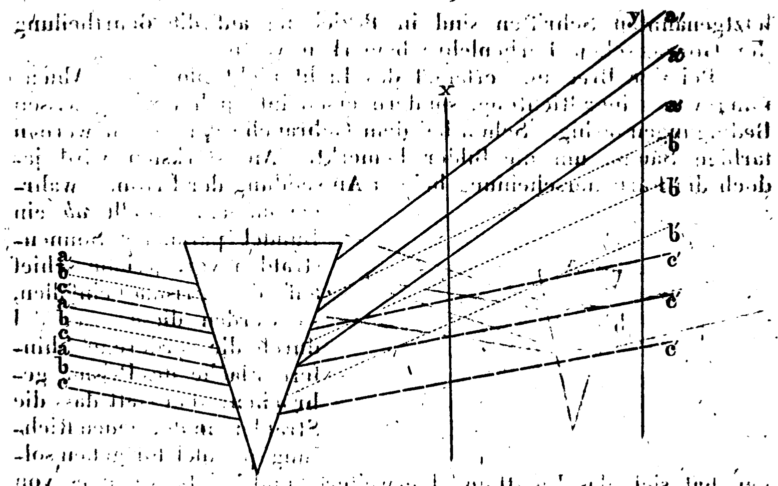
In der Litteratur dieses Gegenstandes sind hervorzuheben: Newton's *Opticks;* Goethe's *Farbenlehre;* Brandes *Artikel Farben in* Gehler's *physikal. Wörterb;* Fischer *mechanische Naturlehre;* Pfaff *über* Newton- *und* Goethe'sche *Farbenlehre;* die drei

letztgenannten Schriften sind in Beziehung auf die Beurtheilung der Goethe'schen Farbenlehre bemerkenswerth.

Bei der Brechung erleidet das Licht nicht bloss eine Ablenkung von seiner Richtung, sondern erscheint auch unter gewissen Bedingungen farbig. Schon bei dem Gebrauche der Linsen werden farbige Säume um die Bilder bemerkt. Am stärksten wird jedoch die Farbenerscheinung bei der Anwendung der Prismen wahrgenommen. Stellt *ab* ein Bündel paralleler Sonnenstrahlen vor, welche schief auf das Prisma einfallen, so werden diese zwei Mal durch die vordere und hintere Fläche des Prisma gebrochen; aber statt dass die Strahlen in der neuen Richtung parallel fortgehen sollen, hat sich das Lichtbündel erweitert, und zeigt, wenn es von einer Fläche aufgefangen wird, Regenbogenfarben. Es ist nicht nöthig, um diese Farben zu beobachten, das Licht durch die Oeffnung eines Fensterladens in eine dunkle Kammer fallen zu lassen; man beobachtet sie am hellen Tage, wenn man das Sonnenlicht durch das Prisma auf eine Wand fallen lässt, aber im dunkeln Zimmer ist die Erscheinung der Farben viel lebhafter und die Grenzen des Bildes deutlicher. Statt eines runden Bildes entwirft das durch das Prisma gebrochene Lichtbündel, eine langgezogene Figur, mit geraden Seitenrändern, und oberer und unterer Abrundung, in welcher sich die Farben in der Reihe violet, blau, grün, gelb, orange, roth folgen. Nach den Gesetzen der Brechung allein würden die parallelen Lichtstrahlen, durch das Prisma zwar eine andere Richtung erhalten, aber doch parallel bleiben. Da sich das Bild erweitert hat, so ist offenbar, dass die Lichtstrahlen, indem sie ihren Parallelismus verlassen, eine verschiedene Brechung erlitten haben. Diese Thatsache führte Newton zu seiner Theorie der Farben. Aus der Wirkung des Prisma's folgerte er, dass in dem angewandten Lichtbündel der Sonne, verschiedene Elemente oder Strahlen enthalten seyn müssen, welche verschiedene Brechbarkeit besitzen, und von welcher nur die gleichartigen oder gleichbrechbaren in gleicher Richtung fortgehen. Sind z. B. (in der folgenden Figur) in dem Bündel paralleler Lichtstrahlen, *a*, *a*, *a* gleich brechbar, *b*, *b*, *b* unter sich gleich brechbar, aber verschieden brechbar als *a*, ferner *c*, *c*, *c* unter sich gleich brechbar, aber verschieden brechbar von *a* und *b*, so werden nur die Strahlen *a'*, *a'*, *a'* die Fortsetzung von *a*, *a*, *a*, als gleich brechbar, nach der Brechung parallel seyn, die von *a* verschieden brechbaren *b*, *b*, *b* werden nach der Brechung mit *a'*, *a'*, *a'* nicht parallel bleiben, aber unter sich parallel bleiben als *b'*, *b'*, *b'*, während die Strahlen *c*, *c*, *c* welche wieder eine andere Brechbarkeit als *a* und *b* haben werden, weder mit *a* noch mit *b* parallel bleiben können, aber unter sich parallel bleiben.



Die gleichartigen Strahlen *a'*, *a'*, *a'* erscheinen in derselben



Farbe, violet, die gleichartigen Strahlen b', b', b' in derselben Farbe, blau, die gleichartigen c', c', c' in derselben Farbe, grün und so Andere wieder gelb, orange, roth. Violet und Roth liegen an den entgegengesetzten äussersten Grenzen des Farbenbildes, indem das violette Licht die grösste, das rothe die geringste Brechbarkeit hat. Die Farben werden aber nur dann gesehen, wenn das Bild in gehöriger Entfernung vom Prisma aufgefangen wird, z. B. in der Entfernung y, wo die von einander sich entfernenden Strahlen a', b', c' sich nicht mehr decken. Wird aber das Bild näher dem Prisma aufgefangen, z. B. in x, so decken sich im mittlern Theile des Bildes die ungleichartigen Strahlen a', b', c', in diesem Falle erscheint der mittlere Theil des Bildes weiss, und nur das obere und untere Ende farbig, je näher dem Prisma das Bild aufgefangen wird, um so weniger haben sich die ungleichartigen Strahlen gesondert, und unter diesen Umständen ist der mittlere weisse Theil des Bildes um so grösser, der farbige Saum aber um so kleiner.

Diess führt zu dem Schluss, dass das Weisse dann gesehen werde, wenn dieselben Stellen eines Körpers ungleichartige Strahlen aller Art zugleich erhalten und ins Auge werfen, dass hingegen die Farbe dann erscheine, wenn das gleichartige Licht einer Art den Eindruck hervorbringt, mit anderen Worten, dass das weisse Licht aus den verschiedenen Farben zusammengesetzt sei, welche zusammen weiss geben, durch brechende Mittel aber wegen ihrer verschiedenen Brechbarkeit zur Sonderung gebracht werden.

Diese Schlussfolge wird darin bestätigt, dass sich die farbigen Lichter wieder zu Weiss vereinigen lassen.

1. Wenn das farbige Licht hinter dem Prisma mit einem Sammelglase aufgefangen wird, so werden die farbigen Bilder an bestimmter Stelle wieder in ein weisses vereinigt, während hinter dieser Stelle die Farben abermals gesondert fortgehen.

2. Dasselbe wird erreicht, wenn man das Sonnenlicht durch

zwei Prismen von gleichem brechendem Winkel und entgegengesetzter Stellung durchgehen lässt. In diesem Falle hebt durch Brechung in entgegengesetzter Richtung das zweite Prisma die Wirkung des ersten auf, und das Bild kann nur weiss erscheinen.

3. Durch Vereinigung der, durch das Prisma erzeugten, farbigen Lichter, vermittelst eines Hohlspiegels in einem Puncte, indem man die Strahlen schief auffallend nach unten reflectiren lässt. Eine an diesem Puncte aufgestellte weisse Tafel, zeigt statt der Farben ein farbloses Sonnenbild.

Die dioptrischen Farben kommen, wiewohl schwächer, auch bei der Anwendung der Linsengläser, statt der Prismen, als regenbogenfarbige Säume der Gegenstände vor. Eine Linse kann als ein Prisma betrachtet werden, dessen brechender Winkel gegen den Rand der Linse zunimmt, und bei welchem die Zerlegung des Lichtes nicht bloss, wie beim Prisma, nach oben und unten, sondern in allen Richtungen vom Centrum nach der Peripherie zu geschieht. Die farbigen Säume sind um so stärker, je mehr das Bild von der Vereinigungsweite entfernt ist.

Der Gebrauch des Wortes Strahlen bei Darstellung der Newton'schen Farbentheorie hat bei Einigen die unstatthafte Vorstellung veranlasst, als wenn, zufolge dieser Theorie, jeder Strahl des weissen Lichtes aus mehreren Strahlen farbigen Lichtes, gleich wie aus seinen Elementen zusammengesetzt sei. Man muss vielmehr bei einer fehlerfreien Auffassung der Resultate, welche aus den Newton'schen Entdeckungen folgen, auf das Sehorgan zurückgehen, welches bei dem Phänomen der Farben und des Lichtes mitwirkt. Bekanntlich ist die Nervenhaut des Auges aus den Enden von ausserordendlich vielen Nervenfasern wie eine Mosaik zusammengesetzt. Jede Papille dieser Mosaik stellt den kleinsten elementaren Theil des Sehorganes dar, welcher einer Empfindung fähig ist.

So lange verschiedenfarbiges Licht auf diese Mosaik des Sehorganes so fällt, dass von den Elementartheilen der Nervenhaut jeder gleichartiges Licht erhält, nämlich *a* von blauem, *b* von gelbem, *c* von rothem Licht beschienen wird, so lange werden auch diese farbigen Eindrücke als nebeneinander existirend empfunden. Wenn aber dieselben Netzhauttheilchen von allen Hauptfarben zugleich beleuchtet werden, so dass dieselbe Netzhautpapille roth, gelb und blau zu sehen bestimmt wird, so wird weder das eine noch das andere, sondern ein gemischter Eindruck weiss gesehen. Und dieses ist es, welches aus den Newton'schen Erfahrungen allein gefolgert werden kann. Also gleichzeitiger Eindruck aller Farben auf demselben Theilchen der Netzhaut bringt den Eindruck des Weissen hervor.

Newton nahm ohne hinreichenden Grund sieben dioptrische Farben an, in welche das weisse Licht durch Brechung zerlegt werde, und zu lange blieb man bei dieser willkührlichen Annahme, welche nicht erst durch T. Mayer und Goethe hätte verbessert werden sollen. Es giebt nur drei Hauptfarben, aus denen sich alle übrigen durch Mischung erklären, das Gelbe, das Blaue, das Rothe. Zwischen Gelb und Blau steht Grün und entsteht durch deren

Mischung; zwischen Blau und Roth Violet; zwischen Roth und Gelb steht Orange. Fällt rothes und blaues Licht auf dasselbe Theilchen der Nervenhaut des Auges, so wird weder das eine noch das andere, sondern Violet gesehen, und ebenso mit den übrigen Farben, die sich zu gemischten Eindrücken verbinden. Daher ist eine Verbindung von einer gemischten Farbe mit einer reinen, so viel als eine Verbindung aller drei Hauptfarben, weil die gemischte Farbe immer schon die beiden anderen Hauptfarben enthält, d. h. $\frac{2}{3}$ Orange und $\frac{1}{3}$ Blau ist soviel als $\frac{1}{3}$ Blau, $\frac{1}{3}$ Roth und $\frac{1}{3}$ Gelb, welche beiden letzteren eben $\frac{2}{3}$ Orange bilden. Bringt man daher das prismatische Orange und das prismatische Blau durch besondere Vorrichtung zur Vereinigung auf derselben Tafel, so ist der Eindruck Weiss, wie von allen drei Hauptfarben, desgleichen Weiss von Roth und Grün (enthaltend Blau und Gelb), desgleichen Weiss von Gelb und Violet (enthaltend Blau und Roth). Eine gemischte prismatische Farbe und eine reine, welche zusammen Weiss geben, heissen complementär. Grün und Roth sind complementär, desgleichen Violet und Gelb, desgleichen Blau und Orange. Das Dunkle oder Schwarze ist nichts Positives, und nichts als der Ausdruck der Ruhe gewisser oder aller Theile der Nervenhaut des Auges. Sind farbige Eindrücke ohne Zumischung von Weiss sehr schwach, so sind sie nothwendig zugleich mehr oder weniger dunkel. Ist der Eindruck des weissen Lichtes schwach genug, so erscheint dem Sehorgan Grau; (wie man sagt aus der Mischung des Weissen und Schwarzen). Das Graue kann indess auch aus der Mischung der Pigmentfarben hervorgehen, rothes, gelbes, blaues Pigment gemischt geben Grau. Auch aus zwei Pigmenten allein lässt sich Grau bilden, wenn die eine derselben eine reine Farbe, die andere eine gemischte ist, d. h. aus zwei anderen gemischt ist, welche mit der reinen die drei Hauptfarben Roth, Gelb, Blau repräsentiren.

So bildet Roth und Grün gemischt Grau.
— — Gelb — Violet — —
— — Orange — Blau — —

Zwei Farben, welche zusammen Grau geben heissen daher auch complementäre.

In beistehender Figur sind die drei Hauptfarben Roth, Gelb, Blau an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks, die durch einen Kreis verbunden sind, die gemischten Farben in der Mitte zwischen den entsprechenden reinen angezeichnet; die complementären Farben, deren Pigmente zusammen Grau, deren prismatische Spectra zusammen Weiss geben, liegen immer entgegengesetzt und sind durch Durchmesser verbunden. Dieselbe Figur giebt auch Auskunft über weitere Farbennüancen, welche zusammen Grau, oder nach der Intensität Weiss geben würden. Wenn man nämlich im ganzen Kreise alle Uebergänge der Farben, zwischen den sechs verzeichneten sich vorgestellt denkt, so liegen die complementären Far-

ben immer regelmässig einander gegenüber, so dass z. B. die Mitteltinte zwischen Orange und Roth complementär ist zur Mitteltinte zwischen Grün und Blau. Auch wenn man Kreisscheiben, die in drei gleiche Felder getheilt, auf jedem Felde mit einer der Hauptfarben bezeichnet sind, so schnell sich drehen lässt, dass die Bilder der Farben schneller ihren Ort auf der Nervenhaut des Auges wechseln, als die vorhergehenden Eindrücke verschwunden sind, so sieht man statt der Farben Grau. Desgleichen wird auf der sich drehenden Scheibe Grau gesehen, wenn bloss zwei complementäre Farben, in einem bestimmten Verhältniss ($\frac{2}{3}$ gemischte, $\frac{1}{3}$ reine Farbe), auf der Scheibe vertheilt sind. Wiegt aber eine der Farben zu stark vor, so tritt diese auch herrschend im Grauem hervor und das Graue ist nicht mehr rein. Zwei reine, ungemischte Farben allein, ausser den complementären, geben bei der Mischung niemals Grau, sondern bloss Uebergänge der Farben in einander oder Mischungen, z. B. Grün aus Blau und Gelb, Violet aus Blau und Roth, Orange aus Roth und Gelb. Dahin gehören in der beistehenden Figur überhaupt alle Farben, die nebeneinander stehen.

Man hat diese Thatsachen als einen Beweis gegen die Richtigkeit der Newton'schen Farbenlehre angesehen, nach welcher alle Hauptfarben zusammen, und also auch die complementären Weiss, nicht aber Grau geben müssten. Der Erfolg kann indess bei der Richtigkeit der Newton'schen Theorie kaum ein anderer seyn. Denn die Pigmente sind zu trüb und absorbiren zu viel Licht um nicht, statt des Weissen, vielmehr Grau bei der Mischung zu bedingen. Ein farbiger Körper ist nämlich zufolge der Newton'schen Farbenlehre, deswegen von der bestimmten Farbe, weil er von dem weissen Sonnenlichte eine oder mehrere seiner Farben absorbirt und nur eine bestimmte zurückwirft. Der Eindruck mehrerer farbigen Felder auf einer sich drehenden Kreisscheibe kann nicht weiss seyn, weil eine weisse Scheibe an ihrer Stelle alles Licht zurückwirft, während die farbigen Felder nur einen Theil davon zurückwerfen. Daher die Vereinigung der farbigen Eindrücke, auf denselben Stellen der Nervenhaut ein geschwächtes Weiss oder Grau sein muss, welches lichter oder dunkler ist, je nach den Lichten oder Trüben, was den Pigmenten einwohnt.

Bringt man hingegen die lichten Farben des prismatischen Spectrums zur Vereinigung, so erhält man reines Weiss, und eben so wenn man zwei complementäre dioptrische Farben zur Vereinigung bringt, wie v. Grotthuss (Schweigg. J. 3. 158.) gezeigt hat.

Es muss zuletzt bemerkt werden, dass die Mittelfarben, die man aus der Vereinigung zweier prismatischen Farben erhält, sich durch das Prisma wieder in ihre Urfarben zerlegen lassen, während die ursprünglichen Mittelfarben des prismatischen Sonnenbildes, durch das Prisma nicht weiter zerlegt werden können. Diess scheint zu beweisen, dass im Sonnenlichte mehr als drei Urfarben enthalten sind, und dass es in ihm wahrscheinlich unendlich viele an Brechbarkeit verschiedene Strahlen giebt. Dass die ursprünglichen und durch Mischung entstandenen Mittelfarben denselben Eindruck, z. B. des Grünen machen, während sie doch in

Beziehung auf ihre Zerlegbarkeit so verschieden sind, lässt sich aus der Geschwindigkeit der Wellen nach der Undulationstheorie erklären, indem die Wellen von der Geschwindigkeit der ursprünglichen grünen Strahlen, denselben Eindruck auf die Nervenhaut machen, als gleichzeitige Wellen von verschiedener Geschwindigkeit der gelben und blauen Strahlen, welche zugleich denselben Theil der Nervenhaut treffen. Die Geschwindigkeit der grünen Strahlen ist selbst eine mittlere, zwischen derjenigen der gelben und blauen Strahlen. Aber die Geschwindigkeit der violeten Strahlen ist grösser, als die Geschwindigkeit der blauen und rothen Strahlen.

Im Uebrigen bleibt sich die Newton'sche Farbenlehre im Wesentlichen ganz gleich, mag man ihr die Emissions- oder die Undulationstheorie zu Grunde legen. Denn die Eindrücke, welche nach der ersten, von qualitativ verschiedenen Strahlen des farbigen Lichtes bedingt werden, hängen in der Undulationstheorie von der Verschiedenheit der Wellen und von der Geschwindigkeit der verschiedenen farbigen Lichter ab, und diese Strahlen erleiden eine ungleiche Brechung durch brechende Medien.

Die Einwürfe gegen die Newton'sche Farbenlehre von Goethe beruhen in der Hauptsache auf Misverständnissen. Goethe (*Farbenlehre*) und Seebeck (Schweigg. *J.* 1. 4.) betrachten die Farbe als entspringend aus dem Weissen und Schwarzen, und legen den Farben selbst ein Dunkles zu, so dass sie sich durch den Grad des Dunkeln (σκιερὸν) unterscheiden, indem sie sich vom Weissen zum Schwarzen, als Gelb, Orange, Roth, Violet, Blau folgen, während Grün wieder in der Mitte zwischen Gelb und Blau zu stehen scheint. Diese Bemerkung ist, obgleich sie keinen wesentlichen Einfluss auf die Newton'sche Farbentheorie hat, allerdings richtig und durch die Untersuchungen von Herschel erfahrungsmässig bestätigt. Der Letztere untersuchte die Intensität des Lichtes von Farbestrahlen, durch welche er Gegenstände unter dem Mikroskope beleuchtete; die Beleuchtung war am stärksten in Gelb und Gelbgrün, schwächer in Orange, noch schwächer in Roth, noch schwächer in Blau und am schwächsten in Violet (man sollte vielmehr seine Stelle zwischen Roth und Blau erwarten). Auch war die Helligkeit von grünen Strahlen schwächer als die von Gelbgrün. Noch ein anderer und sicherer Beweis von dem Unterschiede der Helligkeit der farbigen Strahlen wird von den Blendungserscheinungen im Auge geliefert. Hat man in die Sonne gesehen, und schliesst das Auge bis zur Dunkelheit, so erscheint das Nachbild der Sonne hell oder weiss auf dunkelm Grunde, aber diess Bild geht durch die Farbenreihe durch bis zum Schwarzen, d. h. bis es sich nicht mehr vom dunkeln Grunde absondert, und die Reihe der Farben, die es vom Weissen bis Schwarzen durchläuft, ist eben die der lichtesten bis zur dunkelsten Farbe, Gelb, Orange, Roth, Violet, Blau. Sieht man aber, nachdem man anhaltend in die Sonne gesehen, auf eine weisse Wand, so erscheint das Nachbild oder Blendungsbild der Sonne schwarz auf dem weissen Grunde der Wand, und es geht von den dunkeln Farben zu den hellen, zuletzt in farbloses Weiss

über, worauf es sich nicht mehr von der weissen Wand unterscheidet.

Aber so richtig auch die Bemerkung von Goethe über das verschiedene Dunkle der Farben ist, so wenig lässt sich daraus etwas für seinen Grundsatz, dass die Farbe aus Licht und Dunkel entstehe, schliessen. Das Dunkle ist, wie wir schon bemerkt haben, nichts Positives, es ist blosse Ruhe gewisser Stellen oder der ganzen Nervenhaut. Eine Farbe, kann ohne aus einer Vermischung von Weiss und Schwarz entstehen zu können, mehr oder weniger Reizkraft für die Nervenhaut, also mehr oder weniger Intensität haben, oder dunkel erscheinen, mag dieses von der verschiedenen Geschwindigkeit der Lichtwellen, und der verschiedenen Grösse derselben in den verschiedenen Farben, oder von irgend einer andern Eigenschaft des farbigen Lichtes herrühren.

Die Hauptsätze der Goethe'schen Farbentheorie beruhen auf dem Misverständniss, in welchem sich Goethe in Hinsicht des Dunkeln oder Schwarzen als etwas Positivem befindet. Die Bildung des Grauen, aus der Mischung der complementären Pigmentfarben, statt des Weissen, leiht der Ansicht von Goethe und Seebeck einige Wahrscheinlichkeit, und ich war früher selbst dafür eingenommen; aber theils lässt sich die Entstehung des Grauen, statt des Weissen, aus den Pigmentfarben leicht erklären, theils lässt sich direct zeigen, dass aus Weiss und Schwarz allein nicht Farbe entstehen könne. Eine Mischung von Weiss und Schwarz erzeugt immer nur Grau, nie Farbe, sei es, dass beide Eindrücke, wie auf der gedrehten Scheibe, sehr schnell einander folgen, und das Nachbild der einen und primitive Bild der andern sich decken, oder, dass beide Ursachen zugleich auf dieselben Theile der Nervenhaut wirken, was freilich nichts Andres heisst, als dass die Ursache des Weissen gemässigt ist, woraus Grau wird.

Die Farbenphänome, welche sich bei der Betrachtung farbloser, heller Gegenstände durch trübe halbdurchscheinende Körper zeigen, schienen der Goethe'schen Ansicht am Meisten zu Gute zu kommen, lassen sich jedoch leicht anderweitig aus bekannten Thatsachen, und aus den Grundsätzen der Newton'schen Farbenlehre selbst ableiten. Eine ausführliche Beantwortung, der von dieser Seite hergenommenen Einwürfe, findet sich in dem von Brandes bearbeiteten Artikel Farbe in Gehler's *physikal. Wörterb.*

Die trüben Mittel lassen, wie Goethe sagt, das weisse Licht indem sie es mässigen, gelb oder gar gelbroth erscheinen, so wie weisses Glas, und die dunstreiche Luft bei der Abendröthe. Mit Recht wird diese Erscheinung, welche nicht bei jedem trüben Mittel vorkömmt, von der Fähigkeit des bläulich weissen Glases abgeleitet, die gelben und rothen Strahlen, mehr als die blauen des weissen Lichtes durchzulassen. Mehrere trübe Mittel zeigen die erwähnte Erscheinung nicht, wie Brandes bemerkt. Z. B. feuchte Nebel, welche sowohl das reflectirte Licht, als das durchgehende weiss erscheinen lassen, indem sie eben alle Farben des Lichtes durchgehen lassen, und alle Farben zugleich reflectiren.

Die von den prismatischen Erscheinungen hergenommenen Ein-

würfe von Goethe, gegen die Newton'sche Farbenlehre, zeigen sich als ungegründet. Goethe hebt als eine nothwendige Bedingung des prismatischen Farbenbildes hervor, dass das Bild begrenzt sei, dass ein Helles an ein Dunkles grenze, nur an dieser Grenze erscheine die Farbe. Weil zur Erzeugung der Farbe überhaupt Hell und Dunkel zugleich nöthig sei. Daher erscheine das Unbegrenzte, die weisse Wand, durch das Prisma gesehen, nicht gefärbt, sondern weiss. Dass sie weiss erscheint, ist indess eben eine Consequenz der Newton'schen Theorie, denn da von allen Puncten der weissen Wand weisse, d. h. blaue, rothe, gelbe Strahlen zugleich reflectirt werden, so wird jeder Theil der Nervenhaut, auch von allen farbigen Strahlen zugleich, d. h. vom Weiss beleuchtet. Zur Erscheinung der dioptrischen Farben ist allerdings die Grenze von Hell und weniger Hell oder Dunkel, aber auch im Sinne der Newton'schen Farbenlehre nöthig; denn nur diejenigen farbigen Strahlen können als solche gesehen werden, welche nicht mit den andern Farben wieder im Bilde zusammen treffen, und sich an der Grenze des Bildes vermöge ihrer abweichenden Brechbarkeit isoliren. Vergl. Brandes *a. a. O. p.* 69.

Endlich ist die Erklärung der prismatischen Farben, welche Goethe giebt, selbst ungenügend. Nach Goethe's Vorstellung wird an der Grenze eines dunkeln und hellen Bildes, durch die Refraction das dunkle Feld über den hellen Grund, und dieses über jenes bewegt, und hierdurch entstehen an der Grenze die Farbensäume. Indess das Licht kann zwar an der Grenze des Dunkeln, das in Beziehung auf das Auge das Affectlose ist, über die ruhenden Theile des Auges zerstreut werden, aber das Dunkle kann sich nicht über ein Helles ausbreiten, denn dunkel ist physiologisch, worauf doch Alles in diesen Fragen zuletzt zurückkommt, nur derjenige Theil des Auges, wo die Nervenhaut im Zustande der Ruhe empfunden wird. Ueber diesen Mangel der Goethe'schen Ansicht habe ich mich bereits ausführlicher in dem Buche über die *Physiologie des Gesichtssinnes Leipz.* 1826. *p.* 399. 409. ausgesprochen, wo ich die Fehler der Goethe'schen Ansicht zu zeigen suchte, wo es mir aber *), indem ich einige Grundsätze derselben festzuhalten suchte, nicht sie zu verbessern gelang. Goethe's grosse Verdienste um die Farbenlehre betreffen nicht die Hauptfrage von den Ursachen der prismatischen Farben. Es ist hier nicht der Ort seine erfolgreichen Bemühungen in Hinsicht der physiologischen Farben, der moralischen Wirkungen der Farben, und der Geschichte der Farbenlehre auseinanderzusetzen.

2. Natürliche Farben der Körper. Pigmente.

Die natürliche Farbe der nicht selbst leuchtenden Körper

*) Der Artikel über die Goethe'sche Farbenlehre ist (die Beobachtungen ausgenommen) ein schwacher Abschnitt dieser Schrift, welche in mehreren wichtigeren Abhandlungen die Resultate ausdauernder Anstrengungen enthält.

rührt zunächst von dem Lichte her, welches ihnen zugeworfen wird, und welches sie wieder zurückwerfen und unserm Auge zuwenden, zum Theil hängt ihre Farbe aber auch von ihrer Affinität zu dem Lichte und den verschiedenen Arten des farbigen Lichtes ab, indem sie alles farbige Licht bald vollständig zurückwerfen, bald vollständig und unter Erscheinung der Erwärmung absorbiren, bald theilweise zurückwerfen und theilweise absorbiren, bald alles Licht ganz hindurchlassen, bald gewisse Strahlen hindurchlassen, andere absorbiren. Ein weisser Körper ist ein solcher, der alle Arten des farbigen Lichtes zugleich zurückwirft, ein schwarzer derjenige, welcher alle Arten des Lichtes in sich aufnimmt und keines reflectirt, ein farbiger aber derjenige, der gewisse farbige Strahlen des weissen Lichtes absorbirt oder durchlässt, andere aber zurückwirft. Ein durchsichtiger, ungefärbter Körper lässt alle Arten Strahlen und also farblos durch sich hindurchgehen, indem er nur einen sehr geringen Theil von allen Arten Strahlen farblos reflectirt. Ein durchsichtiger, gefärbter Körper absorbirt gewisse Strahlen des Lichtes, und lässt den farbigen Rest durch sich hindurchgehen. Dass die Farbe der undurchsichtigen Körper davon abhängt, dass sie gewisse Strahlen des Lichtes absorbiren oder durchlassen, andere aber zurückwerfen, lässt sich erfahrungsmässig beweisen.

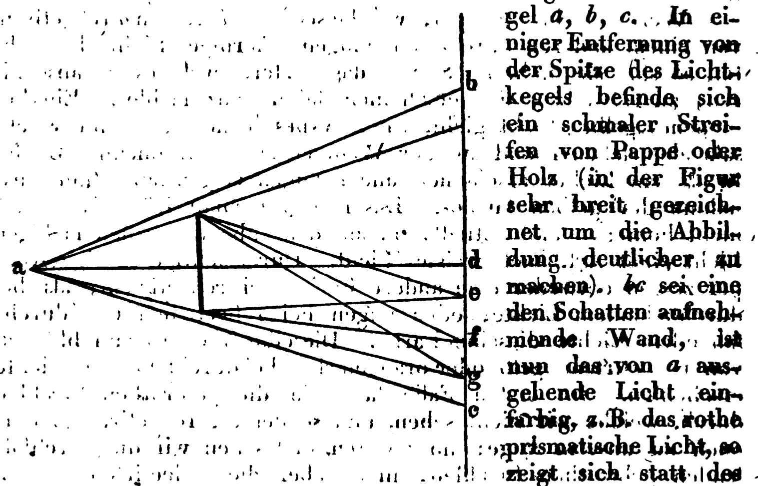
Werden farbige Körper, welche sonst die Strahlen *a* reflectiren, von einem anderen durchaus homogenen farbigen Lichte beleuchtet, so sind sie nicht im Stande das letztere, welches sie absorbiren, zu reflectiren und erscheinen daher ganz farblos. Ein homogenes gelbes Licht giebt, wie Brandes bemerkt, ein mit Kochsalz abgeriebener und auf der Weingeistlampe brennender Docht. In diesem Lichte erscheinen alle farbigen Gegenstände mit Ausnahme der gelben farblos. Das meiste farbige Licht ist indess nicht homogen und enthält, ausser dem überwiegenden farbigen Licht einer Art, auch weisses Licht. Durchsichtige farbige Körper zeigen entweder eine andere Farbe bei reflectirtem, als bei durchfallendem Lichte, oder zeigen bei reflectirtem und durchfallendem Lichte dieselbe Farbe. Dieselbe Wolke kann bläulich von reflectirtem, gelb oder orangefarben bei durchfallendem Lichte erscheinen. Im ersten Falle lässt sie die gelbrothen Strahlen durch, welche wir nicht sehen, und sendet die reflectirten bläulichen zu unserm Auge; im zweiten Fall sehen wir die durchfallenden gelbrothen Strahlen, nicht aber die reflectirten blauen. Brandes erklärt auf diese Weise das bald bläuliche, bald gelbrothe Ansehen der Atmosphäre. Die heitere Luft erscheint am Abend gegen Osten bläulich, wo sie das blaue Licht zu uns reflectirt, das gelbrothe durchlässt, was daher von uns nicht gesehen wird, sie erscheint gelbroth im Westen, von wo sie das gelbrothe Licht zu uns durchlässt, während sie das blaue Licht reflectirt. So erscheint auch bläuliches Milchglas gegen das Licht feuerroth. Andere durchsichtige Körper erscheinen bei reflectirtem und durchgehendem Licht gleichgefärbt; sie reflectiren einen Theil eines farbigen Lichtes *a*, während sie einen andern Theil von *a* durchlassen, dabei absorbiren sie die übrigen farbigen

Strahlen *b, c* vollständig. Siehe das Nähere bei Brandes *a. a. O. p.* 115.

3. Farben durch Interferenz der Lichtstrahlen.

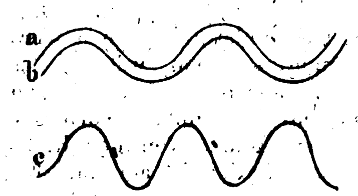
Die Newton'sche Farbentheorie wird nicht verändert durch die Farbenerscheinungen, welche zunächst aus dem von Th. Young entdeckten Princip der Interferenz der Lichtstrahlen, oder der Einwirkung der Lichtwellen auf einander zu erklären sind. Da viele bisher schwer zu erklärende Farbenerscheinungen diesem Gesetze ihren Ursprung verdanken, so muss hier zur Vollständigkeit der Lehre von den physischen Farben, das Nöthigste über die Interferenz und die Farben durch Interferenz beigebracht werden.

Die von Th. Young entdeckte Eigenschaft der Lichtstrahlen gegenseitig auf einander einzuwirken, besteht darin, dass zwei Lichtstrahlen, die von einem Puncte ausgehend, auf wenig verschiedenen Wegen und unter einem sehr kleinen Winkel ihrer Convergenz in einem Puncte ankommen, unter gewissen Bedingungen die Intensität der Beleuchtung verstärken, unter andern Bedingungen die Beleuchtung gänzlich aufheben. Diese gegenseitige Einwirkung der Lichtstrahlen heisst Interferenz. In einen finstern Raum falle der von einem Puncte *a* ausgehende Lichtkegel *a, b, c*. In einiger Entfernung von der Spitze des Lichtkegels befinde sich ein schmaler Streifen von Pappe oder Holz, (in der Figur sehr breit gezeichnet, um die Abbildung deutlicher zu machen). *bc* sei eine den Schatten aufnehmende Wand, ist nun das von *a* ausgehende Licht einfarbig, z. B. das rothe prismatische Licht, so zeigt sich statt des

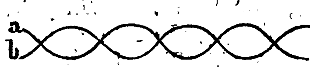


einfachen Schattens auf der Wand *bc* vielmehr eine Reihe von abwechselnden farbigen und dunkeln Linien, wovon die farbigen mit der Farbe des Lichtkegels übereinstimmen. Wird die auffangende Wand *bc* dem Körper sehr genähert, so wird der Schatten rein und scharf und ohne Linien, wird er davon entfernt, so entwickeln sich mehr und mehr die genannten Linien. Der mittelste Streifen bei *d* ist farbig. Die Erscheinung der hellen und dunkeln Linien hört auf, sobald man das Licht an dem einem Rande des Kartenblattes auffängt, so dass es auf dieser Seite nicht bis zur Fläche *bc* gelangt. Diess beweist, dass die Erscheinung nicht von der Beugung des Lichtes an den Rändern, sondern von der gegenseitigen Einwirkung der an den entgegen-

gesetzten Rändern vorbeigehenden Strahlen abhängig ist. Dass diese Strahlen aber sich hinter dem Kartenblatte begegnen werden, folgt aus den Gesetzen der Beugung, Inflexion, welchen das Licht unterworfen ist, wenn es dicht am Rand von Körpern vorbeigeht. Nämlich die am Rande des Kartenblatts vorbeigehenden Lichtstrahlen werden von diesem Rande von der Richtung *ab* nach *g*, *f*, *e*, *d* inflectirt. Diese Inflexion ist am stärksten für diejenigen Strahlen, welche dem Rande am nächsten sind, und nimmt ab, je entfernter die dicht am Rande vorbeigehenden Strahlen dem Rande sind, bis in einer gewissen Entfernung die Strahlen *ab* ihre Richtung behalten. Durch Beugung des Lichtes an den Rändern des Kartenblatts treffen also Strahlen, die von dem Puncte *a* ausgegangen, wieder zusammen. Diese Strahlen sind für die Mitte des Schattens gleich lang, ungleich lang für alle übrigen Stellen des Schattens, z. B. die in dem Puncte *e*, in *f*, in *g* zusammenkommenden Strahlen. Da nun das Bild der inflectirten rothen, von *a* ausgehenden Strahlen dunkle Linien zeigt, die mit rothen Linien abwechseln, so folgt, dass gewisse an den entgegengesetzten Rändern des Kartenblatts inflectirte Strahlen des rothen Lichtes, durch das Zusammentreffen in Puncten der Wand sich völlig aufgehoben haben, und diese Stellen erscheinen eben dunkel, während andere Strahlen des rothen Lichtes sich nicht zerstört haben und die rothe Farbe erscheinen lassen. Die Erscheinung kann auch so gezeigt werden, dass man nach Fresnel, die von einem Puncte ausgehenden Lichtstrahlen, durch zwei gegeneinander gestellte Spiegel zur Interferenz bringt, so dass die Reflexion hier ersetzt, was in dem beschriebenen Versuch die Beugung thut. Die Erklärung dieser Erscheinung folgt mit Leichtigkeit aus der Undulationstheorie. In dem Puncte *d* wird das rothe Licht nicht aufgehoben, hier coincidiren gleich lange Strahlen von rothem Lichte, welche eine gleiche Zahl von Wellen *a* bis *d* zurückgelegt haben; die Strahlen, welche in *e*, *f*, *g*, zusammenkommen, haben ungleiche Längen und haben bis zu ihrem Zusammentreffen eine ungleiche Zahl von Wellen des rothen Lichtes zurückgelegt. Alle solche interferirenden Strahlen von ungleicher Länge heben sich entweder auf, oder verstärken sich. Die Differenz der Länge der in *e* zusammenkommenden Strahlen kann kleiner oder grösser seyn, als die Breite einer Welle des rothen Lichtes, die aus einem verdichteten und verdünnten Theile besteht. Hat der eine Strahl bis *e* eine ganze Welle mehr gemacht als der andere bis *e*, so stören sich, nach den für alle Wellenbewegung geltenden Gesetzen, beiderlei Wellen nicht, denn der verdichtete Theil der Welle des einen Strahls, fällt bei *e* auf den verdichteten Theil der Welle des andern Strahls, der verdünnte Theil der Welle des einen Strahls, auf den verdünnten Theil der Welle des andern Strahls, oder der Wellenberg des einen auf den Wellenberg des andern, das Wellenthal des einen auf das Wellenthal des andern, wie in folgender Figur. Daraus kann nur eine Verstärkung des von der Wand reflectirten Strahles hervorgehen, indem die Wellenberge und Wellenthäler sich verstärken. Dasselbe wird geschehen, wenn die



Unterschiede der Zahlen beider Wellen, 3, 4, 5, 6 ganze Wellen betragen. Denn in diesem Falle werden die Wellenberge immer mit den Wellenbergen, die Wellenthäler mit den Wellenthälern coincidiren. Hat hingegen der eine der in einem Punct zusammenkommenden Strahlen nur die Hälfte einer ganzen Welle mehr zurückgelegt, als der andere Strahl, so fällt die verdünnte Hälfte einer Welle, oder das Wellenthal des einen Strahls in die verdichtete Hälfte der Welle oder den Wellenberg des andern Strahls, wie in beistehender Figur versinnlicht ist; die Verdünnung der einen und die Verdichtung der andern Welle heben sich gegenseitig auf, dann wird diese Stelle dunkel erscheinen.



Sind die Unterschiede der Zahl der Wellen beider Strahlen kleiner als eine ganze Welle, aber grösser als eine halbe Welle, oder grösser als eine ganze Welle, aber kleiner als zwei Wellen, so werden sich die Bewegungen von beiderlei Strahlen mehr oder weniger stören. Man sieht leicht ein, wie diese Erscheinungen die Gelegenheit an die Hand geben mussten, die Breite der Lichtwellen für die verschiedenen Farben durch Berechnung zu finden. Die dunkeln und hellen Linien haben übrigens bei verschiedenem farbigem Lichte, mit dem der Versuch angestellt wird, eine verschiedene Lage.

In dem vorher erläuterten Falle waren die zur Interferenz gebrachten Lichtstrahlen homogenes farbiges Licht, das von einem Puncte ausging. Bei Anwendung des weissen Lichtes zum Versuch, kommen die eigentlichen Farbenphänomene zum Vorschein, um welche es sich für unsern Zweck handelt. Man sieht nämlich, statt der abwechselnd homogenen farbigen und dunkeln, dann Streifen, die mit den lebhaftesten homogenen Farben prangen. Die Erklärung folgt aus derjenigen des vorhergehenden Versuchs. Da die Wellen von jeder im weissen Licht enthaltenen Farbe, ungleich breit sind, so wird jede der Hauptfarben des weissen Lichtes ihre eigenen, verschieden gelegenen hellen und dunkeln Streifen haben, wie es im vorhergehenden Versuch von einer Farbe erläutert wurde.

Aus der Erklärung der Farben durch Interferenz lassen sich am leichtesten die Farben ableiten, die man in dünnen Plättchen von Körpern mit sehr feinblättriger Structur, und an sehr fein gefurchten Oberflächen wahrnimmt. Es ist eine bekannte Erscheinung, dass die vordere oder die hintere Fläche eines durchsichtigen Körpers Licht reflectirt. Ein senkrecht auf ein dünnes durchscheinendes Blättchen geworfener Strahl wird zum Theil von der vordern, zum Theil von der hintern Fläche reflectirt, der letzte und der erste Theil des Strahls fallen bei der Reflexion in eins zusammen, und müssen, wenn der Unterschied ihres Weges klein genug war, ein Interferenzphänomen erzeugen. Dasselbe gilt von schief auffallenden Strahlen. Denn mit dem von der vor-

dern Fläche reflectirten Strahl, wird der von der hintern Fläche reflectirte Antheil irgend eines andern Strahls wieder zusammentreffen und interferiren. Auf ähnliche Weise erklärt man die Farbenphänomene, die man auf Flächen bemerkt, die sehr fein gefurcht sind. Hieher gehören also die irisirenden Farben der Glimmerplättchen, des blätterigen Glases, der Seifenblasen, der Perlmutter u. s. w.

Am Schlusse dieser Bemerkungen werden hier noch die Längen und Geschwindigkeiten der Lichtwellen für die verschiedenen Farben angeführt, wie sie HERSCHEL aus Interferenzphänomenen berechnet hat.

Länge der Wellen in Milliontheilen Engl. Zoll.		Anzahl der Wellen in 1 Zoll.	Anzahl der Billion von Schwing. in 1 Sek.
Grenze des roth	26,6	37640	458
Grenze des roth und orange	24,6	40720	495
Grenze des orange und gelb	23,5	42510	517
Grenze des gelb und grün	21,9	45600	555
Grenze des grün und blau	20,3	49320	600
Grenze des blau und indig	18,9	52910	644
Grenze des indig und violet	18,1	55240	672
Grenze des äussersten violet	16,7	59750	727

Ueber Interferenz siehe WEBER *Wellenlehre*, BRANDES *in* GEHLER's *physikal. Wörterb.* über die Undulationstheorie ebendaselbst den Artikel Licht.

II. Capitel. Vom Auge als optischem Werkzeuge.

I. Optischer Bau der Augen.

In Hinsicht des Baues der Augen für den Zweck der Lichtempfindung im Allgemeinen, und des Sehens insbesondere kann man drei Hauptformen unterscheiden: 1) Die einfachsten Augen oder Augenpunkte der Würmer und der niedersten Thiere, von welchen es zweifelhaft ist, ob sie mehr als allgemeine Lichtempfindung durch ihre Augen haben, d. h. Tag und Nacht, helle und dunkle Orte, wo sie sich aufhalten, unterscheiden; 2) Die musivisch zusammengesetzten, mit durchsichtigen lichtsondernden Medien versehenen Augen der Insecten und Crustaceen. 3) Die Augen mit collectiven, das Licht sammelnden durchsichtigen Medien.

A. Einfachste Augen oder Augenpuncte der Würmer und anderer niederer Thiere.

Von den Augen der Insecten, Crustaceen, Mollusken lässt sich deutlich nachweisen, dass sie die nöthigen durchsichtigen Apparate zum Sondern des von verschiedenen Stellen des Objecte kommen-

den Lichtes besitzen. Es fragt sich, ob diess auch von den sogenannten Augenpuncten der Würmer und anderer niederer Thiere gelten könne, oder ob diesen Augen die optischen Werkzeuge mangeln, und ob solche Augen nicht vielmehr bloss das Helle und Dunkle im Allgemeinen, Tag und Nacht unterscheiden können. Ueber das Vorkommen dieser Augenpuncte siehe oben p. 281. Hirudo medicinalis hat zehn Augen, die in einem Halbzirkel an der vordern Fläche des Kopftheils über dem Munde stehen. Sie sind nach Weber über die Oberfläche wie eine Warze erhaben, und verlängern sich wie Cylinder in das Innere des Thiers. Das Ende der Augen ist von einer convexen, sehr durchsichtigen Membran bedeckt, unter welcher am Ende jedes Auges sich eine schwarze Platte befindet, der untere Theil der Cylinder ist schwarz. Pupille und durchsichtige Theile sind nicht bemerkt worden. Diese Theile erkennt man auch an den halbmondförmigen Augen mehrerer Planarien nicht. Ich untersuchte den Bau der Augenpuncte bei den Nereiden. Bei der Gattung Nereis Aud. et Edw. finden sich vier schwarze Augenpuncte auf der Oberfläche des Kopfes im Viereck gestellt. Sie sind nicht erhaben und vielmehr einfach von der Epidermis des Kopfes bedeckt. Die Augen sind hinten rund, nach der Lichtseite platt, und bestehen aus einer becherförmigen, hohlen, schwarzen Membran, und einem runden weissen undurchsichtigen Körper, welcher darin enthalten ist, und sich in den Sehnerven verlängert. Die vier Sehnerven der vier Augen senken sich jeder besonders in die obere Fläche des Gehirns ein. Bei diesem Thiere hat man es also mit Augen ohne durchsichtige optische Werkzeuge zu thun. Die in der Choroidea enthaltene Anschwellung ist dem Lichte zugänglich, da an der Lichtseite die Choroidea fehlt, und cirkelförmig ausgeschnitten ist. Aber diese Anschwellung scheint nur das papillenförmige Ende des Sehnerven zu seyn; denn sie war undurchsichtig, von demselben Aussehen als der Sehnerve, in welchen sie sich deutlich fortsetzte, und feinkörnig. Allerdings war die Nereide vorher in Weingeist aufbewahrt worden, aber die durchsichtigen Organe in den Augen der Insecten, Spinnen, Schnecken behalten ihre helle Durchsichtigkeit an in Weingeist aufbewahrten Thieren. J. Mueller *ann. d. sc. nat.* XXII. p. 19. Rathke (*de Bopyro et Nereide. Rigae* 1837.) hat bei Nereis Dumerilii ebenfalls den pupillenartigen Ausschnitt der Choriodea beobachtet. Derselbe hat aber auch eine zweite Form der Augen aus der Familie der Nereiden, nämlich bei der Gattung Lycoris beschrieben, wo diese Pupille fehlte, und wo die schwärzliche Choroidea vielmehr das ganze Auge umgab. In diesem Falle ist noch weniger an eine Unterscheidung der Formen zu denken, und nur auf eine vage Unterscheidung des Lichten und Dunkeln vermöge des Lichtes, welches den Pigmentüberzug zu durchdringen vermag, zu rechnen. R. Wagner (*Vergl. Anat.* 1. 428.) der selbst an frischen Exemplaren von Nereiden, die papillenförmige Anschwellung des Sehnerven und keine durchsichtigen Organe erkannte, glaubte an Hirudo medicinalis bei jungen eben ausgeschlüpften Thieren, auch durchsichtige Theile, und an dem glockenförmigen, lose mit rothen Pigmentkörnchen überstreu-

ten Glaskörper, vorne einen Abschnitt, wie eine Linse zu sehen. So viel ist indess wohl gewiss, dass bei den Nereiden die eine Abtheilung eine Pupille und keine durchsichtigen innern Organe, die andere nicht einmal eine Pupille hat, und wir sind berechtigt diesen Thieren nur eine ganz allgemeine Unterscheidung des Hellen und Dunkeln zuzuschreiben.

Die Existenz wirklicher Sehorgane bei einer Gattung von Nereiden ohne Pupille, mit gänzlicher Bedeckung des Auges durch Pigment, und die Aehnlichkeit dieser Organe mit den Augen anderer Nereiden, welche eine Pupille haben, macht es wahrscheinlich, dass auch bei anderen niederen Thieren, wo sich schwarze oder tiefgefärbte Augenpuncte, wenn gleich ohne Pupille zeigen, die Beziehung zum Lichtempfinden mit Recht vermuthet wird. Bei den Wirbelthieren kennt man nur ein einziges Beispiel von Augen ohne optische Werkzeuge. Ich fand bei Myxine glutinosa ein kleines Auge nicht bloss unter der Haut, sondern sogar unter den Muskeln, während das Auge des verwandten Bdellostoma an der Oberfläche liegt. Das Auge der Myxine glutinosa enthält keine Linse, sondern nur einen bulbusartigen, das ganze Auge ausfüllenden Körper, welcher mehr einem Bulbus nervi optici, als einem Glaskörper gleicht. Obgleich das Auge von Muskeln bedeckt ist, so kann doch alle Lichtempfindung nicht aufgehoben seyn, da wir sogar durch die Dicke der Finger und ganzer Knochen Licht sehen. Diesen Thieren wird also auch nur eine allgemeine Unterscheidung von Hell und Dunkel, Tag und Nacht zukommen.

B. Musivisch zusammengesetzte Augen der Insecten und Crustaceen.

J. Mueller *zur Physiologie des Gesichtssinnes.* *Leipz.* 1826. *Ann. d. sc. nat. T. XVII.* 225. 365. *Fortsetzung in* Meck. *Arch.* 1829. 38. 177.

Die zusammengesetzten Augen der Insecten und Krebse sind mehr oder weniger grosse Abschnitte von Kugeln, bei den Insecten unbeweglich, bei den Decapoden unter den Krebsen, und noch einigen andern auf Säulen beweglich. Auch der Sehnerve dieser Augen schwillt im Innern derselben in eine grosse Kugel oder einen Kugelabschnitt an, von deren Oberfläche sich tausende von Primitivfasern des Sehnerven erheben, und wie Radien gegen die Oberfläche des Organes gerichtet sind. Sie erreichen jedoch die durchsichtige Oberhaut oder Hornhaut der Kugel nicht; vielmehr liegen, wie ich durch alle Ordnungen der Insecten und auch bei den Krebsen gezeigt habe, zwischen den Enden der Sehnervenfasern und der Hornhaut durchsichtige Kegel, ebenfalls radial gegen die innere Oberfläche der Hornhaut gestellt, und durch ihre Basen mit der innern Fläche der Hornhaut vereinigt, während die Spitzen der Kegel die Enden der Sehnervenfasern aufnehmen. Die Länge der Kegel ist in den einzelnen Gattungen sehr verschieden, meist sind sie 5—6 Mal so lang als breit, wie bei den mehrsten Käfern, Schmetterlingen, selten sind sie sehr kurz, so kaum länger als breit unter den Dipteren bei den Fliegen. Bei

den Insecten und eigentlichen Krebsen im engern Sinne (Decapoden) ist auch die Hornhaut musivisch abgetheilt, und jede kleine Abtheilung, Facette, entspricht einem durchsichtigen Kegel, mit welchem sie verbunden ist und einer Sehnervenfaser, die wieder den Kegel aufnimmt. Die Facetten der Hornhaut sind bei den Insecten sechseckig, bei den Krebsen selten, wo sie sich meist der viereckigen Form nähern, obgleich die Theilungen hier nicht durch gerade Linien geschehen können, sondern auf der convexen Oberfläche des Auges auch durch Curven bewirkt werden müssen. Die Facetten sind selten auswendig und inwendig etwas erhaben oder linsenförmig, wie bei den Schmetterlingen, meist vielmehr ziemlich eben, und sogar bedeutend dick, wie bei den Orthopteren und Käfern. Bei der Aehnlichkeit ihrer hintern und vordern Fläche kann man von der Wirkung derselben auf das Licht im Allgemeinen wenig erwarten, wie sie denn auch bei einer grossen Zahl der Crustaceen, namentlich bei den Entomostraca nach meinen Beobachtungen gänzlich fehlen, während doch die durchsichtigen Kegel hier ebenso gut vorhanden sind. In diesem Fall ist die Oberfläche der Hornhaut, sowohl inwendig als auswendig, vollkommen glatt, und nur in diesem Falle sind auch die Basen der Kegel, welche sonst mit den Facetten der Hornhaut verbunden sind, abgerundet. Zwischen den durchsichtigen Kegeln und selbst zwischen den Fasern des Sehnerven liegt Pigment, bald dunkler, bald heller, schwärzlich, violetschwarz, blauschwarz, purpurroth, braun, braungelb, hellgelb, grün u. s. w. Zuweilen liegen selbst mehrere Schichten von verschiedenen Farben übereinander. Zwischen den Kegeln steigt das Pigment bis zur Hornhaut herauf, und bedeckt selbst in einigen Fällen die vordere Fläche oder Basis der Kegel bis auf eine mittlere, jedem Kegel eigene Pupille; die besonders dann deutlicher ist, wenn die Kegel sehr kurz sind, wie bei den Dipteren. In anderen Fällen sind die Basen der Kegel von Pigment ganz frei, und letzteres erreicht bloss die Theilungsstellen der Facetten. In den Augen der niederen Crustaceen, deren Hornhaut facettenlos sind, stecken die kegelförmigen, durchsichtigen Körper mit ihren Spitzen, und dem grössten Theile ihrer Länge im Pigmente, während ihre runden Enden daraus hervorsehen, und der innern Fläche der vollkommen glatten Hornhaut zugewandt sind. Die Zahl der Facetten und Kegel ist übrigens sehr verschieden, meist sehr gross, mehrere Tausende, in einem Auge bis zwölf und zwanzig Tausend; selten sind sie wenig zahlreich, wie bei einigen Entomostraca. Die Verbindung der Sehnervenfasern mit den Kegeln ist noch näher von R. Wagner untersucht. Bei den Insecten setzt sich die Faser scheidenförmig über die Seiten der Kegel fort, da die Nervenfasern bei den höheren Thieren aus Röhre und Inhalt bestehen, so kann man vermuthen, dass die Röhre vorzugsweise diese Scheide bilde. Siehe über diesen Gegenstand Wieg. *Arch.* 1835. *I.* 372. und Muell. *Arch.* 1836. 613.

Es wurde schon erwähnt, dass die Augen vieler Crustaceen nach meinen Beobachtungen ohne Facetten der Hornhaut, und dass die Basen ihrer Kegel abgerundet sind. Ich stellte daher

schon vor längerer Zeit zwei Hauptmodificationen der zusammengesetzten Augen auf. Meck. Archiv 1829. Es giebt aber noch eine dritte Modification im Bau der zusammengesetzten Augen, welche von Edwards, Burmeister und mir selbst bei mehreren Crustaceen bemerkt wurde. Diess ist diejenige, wo ausser den kegelförmigen Körpern, auch noch linsenförmige zwischen der Hornhaut und den Kegeln vorkommen. Die Linsen müssen die Lichtstrahlen, welche auf sie einfallen, sammeln und den Achsen der Kegel zuwerfen.

Edwards beobachtete diess bei Callianassa, bei vielen Brachiuren, namentlich bei Cancer maculatus, ferner bei Amphitoe und mehreren Edriophthalmen. *Hist. nat. d. crustacées. I. Paris* 1834. *p.* 116. Bei Hyperia sah ich bei Herrn Edwards und mit demselben in den Facetten der Hornhaut kleinere Linsen. Branchiopus paludosus hat nach Burmeister's Beobachtungen auch Linsen mit grösserer Längsachse hinter den Facetten der Hornhaut und vor den Kegeln. Muell. *Arch.* 1835. 529. *vergl.* 1836. CII. Einige von diesen Thieren, wie Amphitoe und mehrere Edriophthalmen, Hyperia und Branchiopus haben zwei Hornhäute. Die äussere ist glatt, die innere facettirt oder gefenstert, so dass hinter den Fenstern die Linsen liegen, wie bei Branchiopus.

Man kann darnach folgende Modificationen der zusammengesetzten Augen aufstellen.

1) Zusammengesetzte Augen mit facettirter Hornhaut und durchsichtigen Kegeln ohne Linsen. Insecten und die meisten Decapoden unter den Krebsen.

a) mit einfachen Hornhautfacetten.

b) mit stark linsenförmigen Hervorragungen an der innern Fläche der Facetten, Meloe.

2) Zusammengesetzte Augen mit facettenloser glatter Hornhaut.

a) mit kegelförmigen, an ihrer Basis abgerundeten, durchsichtigen Körpern ohne Linsen. Beobachtet bei Daphnia, Apus, Gammarus, Cyamus u. A.

b) Basen der Kegel an die Hornhaut angewachsen, Limulus.

3) Zusammengesetzte Augen mit Linsen vor den kegelförmigen durchsichtigen Körpern.

a) mit facettirter Hornhaut Callianassa, viele Brachiuren (Cancer maculatus).

b) mit äusserer glatter, innerer facettirter Hornhaut Amphitoe, mehrere Edriophthalmen, Hyperia.

c) mit äusserer glatter, inneren gefensterter Hornhaut Branchiopus.

An die zusammengesetzten Augen mit Linsen und kegelförmigen Glaskörpern schliesst sich die vierte, bereits 1829 von mir aufgestellte Gattung von zusammengesetzten Augen.

4) Aggregate der einfachen Augen, wovon jedes einzelne die wesentlichen Theile der einfachen Augen, nämlich Linse und kugeligen Glaskörper enthält. Mehrere Isopoden, wie Cymothoe und die vielfüssigen Insecten Julus. Diese machen den Uebergang von den Eigenschaften eines musivisch zusammengesetzten Auges ohne collective Linsen zu einem Sehorgan mit collectiver Linse.

C. Einfache Augen der Insecten, Spinnen, Crustaceen und Mollusken mit collectiven dioptrischen Medien.

(J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes.* 315. *Ann. d. sc. nat.* *XVII* 232. *und Ann. d. sc. nat. XXII.* Meckel's *Archiv* 1829. 38. 208.)

a. Einfache linsenhaltige Augen.

1. *Spinnen.* Die Augen der Spinnen sind nach dem Princip der Augen des Menschen und der Wirbelthiere gebaut. Hinter der Cornea befindet sich eine kugelrunde Linse und hinter dieser ein Glaskörper. Die schwarze Choroidea bildet um die Linse einen schwarzen Ring. Meistens besitzen die Spinnen mehrere von diesen Augen, der Scorpion z. B. hat 12 auf der Oberfläche des Kopfes, und 6 kleinere am vordern Rande des Kopfes, bei Scorpio tететer (*mus. entomol. Berol.*) vom Cap und bei Sc. occitanus fand ich sogar 10 Augen am vordern Rande des Kopfes.

2. *Crustaceen.* Bei den Crustaceen sind die Augen mit collectiven dioptrischen Medien oder Linsen selten; wo sie vorkommen, sind sie den musivisch zusammengesetzten Augen als Nebenorgane beigegeben. Man nennt sie hier zur Unterscheidung von den zusammengesetzten Augen, gewöhnlich einfache Augen. So hat Limulus polyphemus ausser den zusammengesetzten Augen 2 einfache.

3. Bei den Insecten erscheinen die einfachen linsenhaltigen Augen entweder allein, oder in Verbindung mit den musivisch zusammengesetzten. Im erstern Falle befinden sich mehrere Aptera, wie die Scolopender, welche 4 Augen auf jeder Seite des Kopfes haben, ferner die Poduren und parasitischen Aptera. Einfache Augen ohne zusammengesetzte haben auch die Larven der Raubkäfer, 2 bei den Cicindelen und Aristen, 12 (6 jederseits) bei den Larven der Wasserkäfer Dytiscus. Die Larven der Hymenopteren sind meist blind, die Bienenlarven haben 2 einfache Augen. Die Larven der Schmetterlinge sind in der Regel mit mehreren einfachen Augen auf jeder Seite versehen. 2—3 einfache Augen mit Linsen neben musivisch zusammengesetzten Augen haben einige Insecten im vollkommenen Zustande, wie die Orthopteren, die Hemipteren, Neuropteren, Hymenopteren, die Abend- und Nachtschmetterlinge. Nach meinen Untersuchungen haben die einfachen Augen dieser Thiere denselben Bau, wie bei den Spinnen. Sie enthalten sicher eine runde Linse dicht hinter der convexen Hornhaut, und vielleicht eine dem Glaskörper zu vergleichende Substanz. Zuweilen sind diese Augen quer länglich, wie eines der Augen der Scolopendra morsitans und 2 von den im kreisstehenden Augen jeder Kopfseite der Larven von Dytiscus marginalis; in diesem Falle ist auch die Linse in die Quere langgezogen.

Die Bestimmung der einfachen Augen der Insecten ist wahrscheinlich das Sehen nur der nächsten Objecte. Diess lässt sich theils aus ihrem vorzugsweisen Vorkommen bei den Larven und flügellosen Insecten entnehmen, theils folgt es aus mehreren Be-

Blumenbach vergl. Anatomie p. 425.

obachtungen, die ich über die Lage der einfachen Augen angestellt habe. Bei der Gattung Empusa kann das mittlere, untere Auge beim Gehen des Thiers, wegen der Verlängerung des Kopfes nur die allernächsten Dinge sehen. Bei Locusta cornuta liegt eben dasselbe unter der Verlängerung des Kopfes. Ebenso bei der Gattung Truxalis. Bei Gryllus vittatus Fabr. liegt das dritte einfache Auge unten über dem Helm, ebenso bei den meisten Gryllen mit conischem Kopfe, z. B. bei Gryllus serrulatus, G. crenatus. Bei Gryllus lithoxylon Klug liegt das mittlere, einfache Auge ganz in einer Rinne zwischen den Antennen verborgen, so dass der Gesichtskreis desselben sehr nahe und klein seyn muss. Bei Acheta monstrosa stehen die einfachen Augen kaum bemerkbar an den Wurzelstücken der Antennen, fast in der Einlenkung derselben mit dem Kopfe. Wie denn überhaupt bei der gesenkten Stellung des Kopfes, die einfachen Augen der Orthopteren mehr nach abwärts und also gegen den Boden, auf welchem die Thiere laufen, gerichtet werden. Bei den meisten Hymenopteren liegen dagegen die Augen mehr nach hinten, so bei Malaxis, Cimbex, Tenthredo, Leucopsis, Sirex, Ichneumon, Chrysis, Lasius u. A. So viel glaube ich aus Vorhergehendem schliessen zu können, dass die einfachen Augen der Insecten mehr für das myopische Sehen berechnet sind. Zwischen den einfachen Augen und zusammengesetzten besteht ein ähnliches Verhältniss, wie zwischen den Palpen und Antennen. Die Antennen und zusammengesetzten Augen fehlen auch den Larven.

4. *Mollusken.* Aehnlich gebaute Sehwerkzeuge, wie die einfachen Augen der Spinnen und Insecten kommen auch vielen Mollusken zu, namentlich der ganzen Ordnung der Gasteropoden. Sie enthalten auch eine Linse und mehr oder weniger deutliche Spuren des Glaskörpers. Siehe J. Mueller *Ann. d. sc. nat. XXII.* Diese Organe erscheinen dem blossen Auge als schwarze Puncte, sie stehen entweder an der Extremität der Fühlhörner, oder in der Mitte derselben nach aussen auf einem Absatze, oder an der Basis derselben. Bei Helix stehen sie am Ende der grossen Fühlhörner etwas zur Seite. Sie sind im Allgemeinen wie das Auge der höheren Thiere gebaut, haben eine becherförmige Choroidea, welche vorn einen Gürtel bildet, eine Linse und einen Glaskörper, wie schon Swammerdam wusste. Murex Tritonis besitzt wenigstens in seinem Auge den einen der brechenden Körper, einen grossen rundlichen, durchsichtigen Körper. Der Sehnerve der Schnecken wurde früher miskannt, man hatte dafür den grossen Nerven des Fühlhorns genommen, aber dieser Nerve ist der Gefühlsnerve des Tentakels; der Sehnerve ist sehr viel feiner, erscheint als Ast desselben, lässt sich aber rückwärts gegen das Gehirn isoliren. Das Gesichtsorgan der Schnecken scheint nur auf die grösste Nähe berechnet zu seyn. Denn Helix pomatia weicht keinem vorgehaltenen Gegenstande aus, wenn er nicht bis auf zwei bis 3 Linien dem Fühlhorn genähert wird.

Die Augen der Cephalopoden unter den Mollusken enthalten alle wesentlichen Theile des Sehorganes der höheren Thiere, selbst Iris und Corpus ciliare.

b. Aggregate der einfachen Augen.

So kann man die Sehorgane einiger Thiere nennen, welche aus der Aggregation einer grössern Anzahl von einfachen Augen zu einer Masse entstehen, in welchen aber jedes einzelne Auge die Structur der einfachen Augen der Spinnen und Mollusken hat, oder nach dem Princip der Augen der höheren Thiere gebildet ist. Ich fand solche Augen bei einigen Insecten und Crustaceen; unter den Insecten kommen sie bei den Julus vor, unter den Crustaceen bei einigen Asseln, z. B. Cymothoa. Man sieht bei diesen Thieren auf der Oberfläche des Auges eine Anzahl Convexitäten, welche den einzelnen Augen entsprechen. Gegen 40 Augen können zu einem solchen Aggregate vereinigt seyn. Hinter jeder convexen Cornea findet sich eine rundliche Linse, und hinter dieser ein rundlicher Glaskörper, welcher von der Retina und Choroidea umgeben ist. Die Aggregate der einfachen Augen bilden den Uebergang zu derjenigen Art der musivisch zusammengesetzten Augen, welche Linsen neben kegelförmigen Körpern enthalten.

D. Auge des Menschen und der Wirbelthiere.

Es ist hier nicht der Ort, von der Structur der einzelnen Theile des Auges zu handeln, und in die allgemeine Anatomie des Auges einzugehen. Was hier mitgetheilt wird, betrifft nur die hauptsächlichsten, für die Optik selbst wichtigsten Structurverhältnisse des Auges und die wesentlichtsen Unterschiede, welche das Auge in den verschiedenen Thierclassen darbietet.

Umgebungen des Auges. Augenlieder. Die Augenlieder fehlen entweder ganz, und es geht die Haut einfach über das Auge weg, wie bei manchen Fischen und mehreren nackten Amphibien, z. B. den Proteideen und der Pipa, oder die Haut bildet Augenlieder, die entweder einfach oder doppelt sind, oder gar zu einem cirkelförmigen Gürtel mit centraler Oeffnung sich verbinden, wie beim Chamaeleon. Zu den gewöhnlichen Augenliedern gesellt sich bei mehreren Thieren die Membrana nictitans, Nickhaut, die schon bei Säugethieren spurweise angedeutet, bei den Vögeln und beschuppten Amphibien in grösster Entwicklung erscheint, und unter den Fischen in geringerer Ausbildung wieder bei mehreren Haifischen auftritt. Bei den Vögeln kann die durchscheinende Haut von der innern Seite des Auges über den vordern Umfang, vermöge eines eigenthümlichen vom Nervus abducens abhängigen Muskelapparates, herübergezogen werden. Unter den Haifischen kömmt sie den Gattungen Carcharias und Galeus und mehreren anderen verwandten zu, fehlt dagegen bei den Gattungen Scyllium, Lamna, Selache, Alopecias, Notidanus, Spinax, Centrina, Scymnus und vielen anderen.

Eine verwandte Bildung ist eine brillenartige, durchsichtige Stelle im untern Augenliede einiger Eidechsen, wie mehrerer Scincoiden, welche über das Auge weggezogen werden kann, und der Cornea entsprechend, das Sehen nicht hindert.

Ganz eigenthümlich ist hinwieder die unbewegliche Capsel vor dem Auge der Schlangen. Bei diesen Thieren werden die Augenlieder durch eine vor dem Auge liegende durchsichtige Capsel ersetzt, welche mit dem Rande rundum an der Haut angewachsen, und eine verdünnte Fortsetzung der Haut ist. Sie besteht aus drei Lamellen; einer äussersten, Fortsetzung der Epidermis, welche daher beim Häuten mit abgeworfen wird, einer mittlern, Fortsetzung der Cutis, und einer innersten, welche der Conjunctiva palpebrarum entspricht, und in die Conjunctiva bulbi oculi sich wie gewöhnlich umschlägt. Zwischen dieser Capsel und dem vordern Umfang des Auges ist ein hohler Raum, in welchen die Thränen gelangen, die durch den Thränengang wie gewöhnlich abfliessen können. Diese Bildung ist von Cloquet zuerst bei den Schlangen entdeckt, sie findet sich selbst bei den Schlangen, deren Augen von dicker Haut bedeckt sind, wie bei den Amphisbaenen u. A., und ich habe sie auch bei einem Säugethiere Spalax typhlus gefunden, dessen Augen von der dicken behaarten Haut bedeckt scheinen, unter welcher jedoch die Conjunctiva ein Säckchen bildet. Unter den Eidechsen, welche sonst Augenlieder haben, zeigen, wie ich gefunden, die Geckonen die merkwürdige Eigenthümlichkeit, dass ihre Augen dieselbe durchsichtige Capsel, wie die Augen der Schlangen besitzen.

Die Thränenwerkzeuge fehlen den Cetaceen unter den Säugethieren, ferner den nackten Amphibien und den Fischen.

Augenhäute. Anlangend das Auge selbst, so zeigt die Sclerotica eine Tendenz zur Verknorpelung und Verknöcherung bei vielen Thieren. Bei den Vögeln, Schildkröten, Eidechsen befindet sich in ihrem vordern Theil um die Cornea her ein Ring, von dachziegelförmig sich deckenden, oder auch nebeneinander liegenden Knochenblättchen, und die Sclerotica der Fische enthält meist zwei grosse Knorpelschalen. Die Choroidea ist bei den Thieren in zwei Blätter, die eigentliche Choroidea und die innere Membrana Ruyschiana trennbar, bei den Fischen ist das äussere Blatt meist silberfarben (argentea), das innere mit dem Pigment bedeckt. Zwischen beiden liegt hinten um die Eintrittsstelle des Sehnerven ein hufeisenförmiger blutreicher Körper, die Glandula choroidalis. Der Orbiculus ciliaris beim Menschen und den Säugethieren fibrös, scheint bei den Vögeln musculös. Die innere Fläche der Choroidea wird bei allen Thieren von der Membrana pigmenti bedeckt, welche aus flachen, oft sechseckigen, die Pigmentkügelchen enthaltenden Zellen zusammengesetzt wird. Bei den Kakerlaken oder Albinos fehlt in den Pigmentzellen das Pigment. Bei mehreren Thieren fehlt es regelmässig an gewissen Stellen des Auges, die entweder weiss oder metallglänzend erscheinen, Tapetum. Das Tapetum der wiederkäuenden Thiere (im hintern äussern Theil des Auges) hat zwar auch die Zellen des Pigmentes, aber das Pigment fehlt darin. Diese metallglänzenden Farben scheinen durch die Structur der Choroidea, vermöge der Interferenz, und nicht durch materielle Farbe erzeugt, und verschwinden daher beim Trocknen. Das ganz weisse Tapetum der reissenden Thiere, welches auf dem Grunde ihres Auges eine dreieckige,

scharf begrenzte Figur bildet, vergeht dagegen beim Trocknen nicht und rührt von einem eigenen Stoffe her. Die Tapeten der Thiere reflectiren schon ein Minimum von Licht, was in das Auge fällt und sind daher die Ursache, dass die Augen jener Thiere (nicht im Dunkeln, aber) bei einem Minimum von Lichtschimmer, der in diese Augen fällt, leuchten. Siehe oben *B. I. 3. Aufl. p.* 97.

Das Corpus ciliare kommt bei den Fischen (mit wenigen Ausnahmen) nicht mehr vor. Hier tritt ein sichelförmiger Fortsatz durch eine Spalte der Retina und heftet sich an den Rand der Linse fest, die zugleich durch das Knötchen, die Campanula Halleri in ihrer Lage erhalten wird. Die Iris ist bei den meisten Thieren beweglich, bei den Knochenfischen wenig oder gar nicht. Beim Pferd, Narval, Lama und bei den Rochen hat die Iris am obern Rande der Pupille einen schleierartigen Anhang. Die Pupille ist bald rund, bald querlänglich, wie bei den Wiederkäuern, bald senkrechtlänglich, wie bei den Katzen und beim Crocodil, bald dreieckig, wie bei der Feuerkröte u. A. Den Vögeln ist der Kamm, Pecten, s. Marsupium eigen, ein mit Pigment versehener, pyramidaler, gardinenartig gefalteter Fortsatz, der ursprünglich aus der Choroidea entspringend, vom Grunde der Netzhaut ins Innere des Glaskörpers, gegen den Rand der Linse gerichtet ist. Er steht im hintern äussern Theil des Auges und ist allen Vögeln eigen. Die Eidechsen haben eine Spur von Pecten, und vielleicht gehört der Processus falciformis der Fische in dieselbe Reihe.

Die durchsichtigen Theile des Auges. Der faserige Bau der Linse ist schon beschrieben *B. I. 3. Aufl. p.* 390. Die Felder in welchen die gezahnten Fasern angelegt sind, sind sehr verschieden in den verschiedenen Classen und Ordnungen. Siehe Brewster *Phil. Transact.* 1836. Chemisch besteht die Linse aus einer eiweissartigen, zugleich etwas eisenhaltigen Substanz. Ihre inneren Schichten sind immer fester als die äusseren, jene sind bei den Fischen von ausserordentlicher fast hornartiger Festigkeit. Bei den im Wasser lebenden Thieren ist die Linse immer convexer, als bei den in der Luft lebenden, bei den Fischen ist sie kugelrund, bei den Sepien sogar länglich in der Richtung der Achse. Dagegen ist die Hornhaut der im Wasser lebenden Thiere viel flacher, als bei den in der Luft lebenden. Diesen Thieren würde eine convexe Hornhaut von keinem Nutzen seyn, indem die wässrige Feuchtigkeit durch Brechkraft sich wenig von dem äussern Wasser, worin die Thiere leben, unterscheidet, während die Brechung durch die Cornea und wässrige Feuchtigkeit bei den in der Luft lebenden Thieren sehr gross ist. Dagegen muss die Brechung bei den im Wasser lebenden Thieren, durch die stärkere Convexität der Linse ersetzt werden. Die Linse der Fische ragt mit der vordern Hälfte durch die Pupille, in die vordere Augenkammer.

Sehnerve und Nervenhaut. Die merkwürdigsten Structurverhältnisse zeigen sich bei den Thieren im Bau dieser Organtheile. Der Sehnerve besteht immer aus Primitivfasern, von ähnlicher Beschaffenheit als die des Gehirns, sie sind sehr fein, viel feiner

als die der anderen Nerven; entweder zeigt nun der ganze Sehnerve eine bloss faserige Structur, wie bei dem Menschen, oder die Fasern ordnen sich an gewissen Stellen, nämlich am Chiasma zu Blättern, so dass sich die Blätter des einen Sehnerven, zwischen den Blättern des andern durchschieben, wie bei den Vögeln und Amphibien; oder endlich ist zuweilen der ganze Sehnerve in seinem Verlaufe vom Gehirn bis zum Auge membranös, wie Malpighi beim Schwertfisch entdeckte, und bei den Fischen allgemein zu seyn scheint. Schneidet man die Scheide des Sehnerven auf, so erscheint der Sehnerve als eine, wie eine Gardine zusammengefaltete Haut mit freien Rändern, und es scheint, dass die Nervenhaut im Auge nur durch die Entfaltung dieser Membran entsteht. Siehe J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes. tab.* 3 *fig.* 19. Damit stimmt dann vollkommen überein, dass die Nervenhaut im Auge der Fische auch noch zwei freie Ränder hat, indem sie vom vordern Rande an bis in den Grund des Auges gespalten ist und klafft.

Dann zieht die Verbindung der Sehnerven nach ihrem Ursprunge die Aufmerksamkeit auf sich. Die Formen, welche sich in dieser Hinsicht unterscheiden lassen sind folgende: 1) Die Bildung der Knochenfische. Hier sind beide Sehnerven nach ihrem Ursprunge durch eine schmale, quere Commissur verbunden; dann gehen sie, ohne ein Chiasma zu bilden, kreuzweise und ohne Vermischung der Fasern über einander weg, der rechte zum linken Auge, der linke zum rechten Auge. 2) Die Bildung der Knorpelfische. Die Kreuzung der Sehnerven, in der Art wie bei den Knochenfischen fehlt, und die Nerven sind durch eine Commissur innig verbunden, ohne dass die innere Structur derselben bekannt wäre; diese Bildung nähert sich sehr dem Chiasma der höheren Thiere an. 3) Chiasma der Amphibien und Vögel. Es gleicht äusserlich dem Chiasma der Säugethiere, aber der innere Bau ist blätterig, und es schieben sich die Blätter des einen Sehnerven, zwischen den Blättern des andern kreuzweise durch, wie die sich kreuzenden Finger beider Hände. Ob alle Fasern hier kreuzen, oder ein Theil derselben auf derselben Seite fortläuft, ist hier noch unbekannt. 4) Chiasma der Säugethiere und des Menschen. Die blätterige Bildung fehlt. Die Fasern beider Sehnerven erleiden im Chiasma eine theilweise Kreuzung, theilweise laufen sie auf derselben Seite fort. Man erkennt diese Bildung bei den Säugethieren noch deutlicher, als bei dem Menschen. Der äussere, obere Theil der Fasern einer Sehnervenwurzel läuft beim Pferde zum Auge derselben Seite fort, die übrigen Fasern kreuzen und begeben sich zum Sehnerven des entgegengesetzten Auges. Siehe *Physiologie des Gesichtssinnes tab.* 2. *fig.* 4. 5.

Der feinere Bau der Nervenhaut ist in der neuesten Zeit durch eine Entdeckung von Treviranus, und durch die übereinstimmenden Beobachtungen von Gottsche erkannt worden. Treviranus *Beiträge zur Aufklärung des organischen Lebens. Bremen.* Gottsche *in* Pfaff's *Mittheilungen aus dem Gebiete der Medicin* 1836. *Heft* 3. 4. Das Wesentliche der Structur der Nervenhaut ist folgendes. Sie besteht aus drei Hauptschichten, einer äussern breiartigen oder pflasterartigen Körnerschicht, ei-

ner mittlern Nervenfaserschicht, und einer innersten Cylinderschicht, welche die Fortsetzung der Faserschicht ist. Der Sehnerve zertheilt sich in Nervencylinder, welche in die mittlere oder Faserschicht ausstrahlen. Jeder Nervencylinder oder jedes aus mehreren Cylindern bestehende Bündel biegt nach Treviranus Entdeckung an einer gewissen Stelle des Verlaufes, von der horizontalen Richtung ab, und wendet sich nach der entgegengesetzten inwendigen Seite der Netzhaut, wo er als Papille endigt. Der Querdurchmesser der Cylinder war beim Igel 0,001 Mill., bei Kaninchen die Papillen 0,0033, bei Vögeln 0,002 — 0,004. Beim Frosch hatten die Cylinder 0,0044, die Papillen 0,0066. Frisch untersucht zeigt die Retina in allen Classen der Wirbelthiere auf ihrer innern Fläche dichtgedrängte Cylinderchen, deren Enden gegen das Innere des Auges sehen. Leicht lösen sich diese Cylinderchen oder stabförmigen Körperchen ab, und schwimmen dann bei mikroskopischer Untersuchung frei auf dem Sehfelde herum. Bei den Fischen sind die stabförmigen Körper mit kleinen Anschwellungen oder Papillen versehen, welche Gottsche genauer beschrieben hat. Die stabförmigen Enden der Nervencylinder, auf der innern Fläche der Retina kann man nur in ganz frischem Zustande untersuchen. Diese Theilchen werden sehr schnell nach dem Tode verändert, und mehrere Stunden nach dem Tode eines Thiers kann man, besonders in der Sommerszeit, nicht viel mehr vom Bau der Retina wiedererkennen, und man sieht dann, statt der stabförmigen Körper, nur eine Körnerschicht, welche bei den früheren Untersuchungen des Baues der Retina oft wahrgenommen werde. So gewiss sich die Schichten der Retina wiedererkennen lassen, und so deutlich die stabförmigen Körper in der innern Schichte sind, welche von Volkmann und E. H. Weber, Gottsche, Ehrenberg und mir wiedergesehen wurden, so ist der eigentliche Zusammenhang der stabförmigen Körper und der Fasern der Faserschicht, und das Wie dieses Zusammenhanges nicht klar. Namentlich fragt es sich, ob die Zahl der stabförmigen Körper durchaus nur der Zahl der Nervenfasern entspricht, und ob wirklich jede Faser einem stabförmigen Körper entspricht, oder ob die stabförmigen Körper reihenweise auf die Fasern der Faserschicht aufgesetzt sind.

II. Erklärung des Sehens aus dem Baue der Augen.

Die Erklärung des Sehens ist verschieden, je nachdem a) das Auge musivisch aus radienartigen, durchsichtigen Körpern oder Kegeln zusammengesetzt ist, deren Wände mit Pigment bekleidet sind, und welche bloss das in der Achse einfallende Licht zu den am Ende der Kegel angefügten Fasern des Sehnerven zulassen, wie bei den Insecten und Crustaceen mit zusammengesetzten Augen, oder b) ob das Auge collective, dioptrische Medien besitzt, Hornhaut (mit oder ohne wässrige Feuchtigkeit), Linse und Glaskörper, wie die einfachen Augen der Insecten, der Spinnen der Mollusken und der Wirbelthiere

A. Vom Sehen der Augen der Insecten und Crustaceen, mit musivisch zusammengesetzten und durch Pigment isolirten, dioptrischen Medien.

(J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes*. 315. *Ann. d. sc. nat. XVII.* 232.)

Der Process des Sehens bei den Insecten und Crustaceen mit zusammengesetzten Augen ist um so interessanter, als er sich ganz von dem Vorgange des Sehens durch ein Auge, wie das menschliche unterscheidet, und uns einen tiefen Blick in die Natur des Sehens überhaupt gewährt. Ich verweise in Hinsicht des Baues dieser Augen, auf das im vorigen Artikel Angegebene.

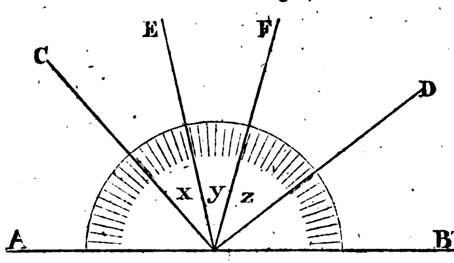
Das Sehen der Insecten war, so lange man die durchsichtigen seitlich von Pigment bekleideten Kegel, zwischen Hornhaut und Sehnervenfasern vernachlässigte, oder die Sehnervenfasern bis zu den Facetten der Hornhaut gehen liess, völlig räthselhaft. Würden die Sehnervenfasern bis zur Hornhaut gehen, so würde jedes vor dem Auge liegende Punct a, b, c, d Licht auf alle Sehnervenfasern zugleich werfen, d. h. a, b, c, d würden nicht unterschieden werden, sondern nur ein gewisser Eindruck aus allen Verschiedenheiten zur Empfindung kommen. Die Kegel lassen hingegen nur das Licht zu ihren entsprechenden Sehnervenfasern, was in ihrer Achse oder radial in Beziehung zum Auge einfällt. Das auf die Wände der Kegel fallende Licht hingegen wird von dunkeln Wänden absorbirt. Auf diese Weise repräsentirt jeder Kegel einen aliquoten Theil des Bildes, und das Bild wird mosaikartig aus so vielen Theilchen zusammengesetzt als Kegel vorhanden sind, daher auch die Deutlichkeit des Bildes mit der Zahl der Kegel zunehmen muss.

Deutlichkeit und Undeutlichkeit des Bildes. Die Deutlichkeit des Bildes, welches sich im Auge der Insecten und Krebse entwirft, hängt von ganz andern Ursachen ab, als bei dem Auge der Thiere mit collectiven oder linsenartigen durchsichtigen Apparaten. Dort ist sie bedingt davon, dass die Nervenhaut sich in der richtigen Vereinigungsweite von der Linse befinde. Hier hingegen hängt sie bloss von der Grösse des Auges und der Zahl der Kegel oder Facetten ab, welche in die Theilung des Bildes eingehen. Für ein Auge, worin 12000 solcher Lichtsonderungsapparate sich befinden, müssen auch 12000 Theilchen des Sehfeldes ohne Vermischung unterschieden werden können. Wo aber nur wenige solcher Organe sind, wird auch jeder Kegel und jede Facette einen viel grösseren Theil des Sehfeldes zum gemischten Eindruck bringen. Denn alle Theilchen eines Bildes, welche ihr Licht zu demselben Kegel und dessen Nervenfaser senden, werden jedesmal nicht von einander unterschieden werden können, sondern nur in einem gemeinsam gemischten Eindruck repräsentirt werden. Ferner muss auch die Länge der Kegel auf die Deutlichkeit des Gesichtes bei den Insecten und Krebsen Einfluss haben. Denn je länger die Kegel sind, um so mehr wird alles seitliche Licht ausgeschlossen und erreicht das Ende der Kegel, wo die Sehner-

venfaser, nicht, und um so mehr gelangt nur das in der Achse des Kegels einfallende Licht zur Nervenfaser.

Sehen in der Nähe und Ferne. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich ein grosser Unterschied der zusammengesetzten Augen und der Augen mit Linsen in Hinsicht des Sehens in der Nähe und Ferne. Die musivisch zusammengesetzten Augen sind gleich gut in die Nähe und Ferne, und bedürfen keiner innern Veränderung für das eine und andere; denn immer wird das als Punct bestimmt gesehen, was sein Licht durch die Achse eines Kegels wirft, mag es nahe oder ferne seyn. Allerdings muss nun die Menge von Einzelheiten, die sich nur als Punct darstellen, zunehmen mit der Entfernung des Gegenstandes, aber hier giebt es keine Zerstreuungskreise, und keine innere Veränderung des Auges zur Verbesserung derselben ist nöthig. Bei den Thieren mit collectiv dioptrischen Medien hängt hingegen die Deutlichkeit des Bildes nicht bloss von der Nähe ab, sondern auch von der richtigen Entfernung der Nervenhaut von der Linse oder von der Vereinigungsweite, und die Vereinigungsweite ist, wie oben erklärt wurde, eine verschiedene, je nach der grössern oder kleinern Entfernung des Gegenstandes vom Auge. Es sind also bei den Augen mit Linsen innere Veränderungen nöthig, wenn sie nicht bloss in einer bestimmten Entfernung deutlich sehen sollen.

Grösse des Sehfeldes. Die Grösse des Sehfeldes der Insecten lässt sich mit der grössten Genauigkeit aus der Form der Augen ableiten. Denn da immer bloss dasjenige gesehen wird, was in der Achse der Kegel oder in den Radien des Auges liegt, so bezeichnen die Achsen der Kegel, welche an den Rändern des Auges stehen, verlängert gedacht, auch genau die Grösse des Sehfeldes eines Insectes oder Crustaceums. Mit andern Worten einen je grössern Theil von einer Kugel das Auge eines Insectes ausmacht, um desto grösser ist das Gesichtsfeld des Thiers, je kleiner der Abschnitt von einer Kugel, um so kleiner das Sehfeld.



Ein Auge von Halbkugelgestalt *AB* repräsentirt auch Alles, was vor ihm liegt von dem Radius *A* bis zum Radius *B*. Ein Auge, welches nur den Kugelabschnitt *CD* darstellt, repräsentirt auch nur, was zwischen den verlängerten Radien *C* und *D* vor ihm liegt, und das Sehfeld ist *EF* für den noch kleinern Kugelabschnitt *EF*. Da nun die Grösse des Kugelabschnittes abnimmt, je flacher ein Auge ist, so kann jener Satz auch so ausgedrückt werden, je flacher das Auge eines Insectes ist, um so kleiner ist sein Gesichtsfeld; je convexer es ist, um so grösser ist sein Gesichtsfeld. Das Auge einer Libelle hat zum Beispiel ein ausserordentlich grosses Gesichtsfeld, denn es beträgt mehr als die Hälfte einer Kugel, es muss vorn und hinten, wie an den Seiten wohl sehen. Damit stimmen auch die Bewegungen dieser Thiere über-

ein, welche sehr rasch, sicher, schweifend, und oft plötzlich seitlich schwenkend sind. Die flachen Augen einiger Wasserwanzen, welche sich kaum über das Niveau des Kopfes erheben, und nur sehr kleine Abschnitte von einer Kugel darstellen, müssen ein enges Sehfeld haben. Bei den Naucoris, Notonecta liegen diese flachen Augen vorn am Kopfe und wir dürfen uns nicht wundern, dass die Bewegungen dieser Thiere im Wasser mit ihrem engen Sehfelde in Harmonie sind. Die Bewegungen dieser Thiere im Wasser sind beständig vor sich hin stossend und nicht schweifend.

Es ist leicht einzusehen, dass die absolute Grösse des Auges nicht den geringsten Einfluss auf die Grösse des Gesichtsfeldes hat. Ein Auge kann sehr klein seyn und kann doch ein sehr grosses Gesichtsfeld haben, wenn das kleine Auge viel von einer Kugel darstellt. Dagegen kann ein Auge gross seyn und doch sehr wenig Gesichtsfeld haben, wenn es flach ist und ein geringer Abschnitt einer Kugel ist.

Sehwinkel. Aus dem Vorhergehenden ergiebt sich zugleich, wovon die relative Grösse der Bilder zum ganzen Sehfelde eines Insectes abhängt. Die Grenzen des Bildes jedes Körpers werden nämlich bestimmt durch die Lichtstrahlen, welche von den Puncten des Objectes durch die Achsen der Kegel des Auges einfallen. Denkt man ideal sich diese Strahlen nach innen verlängert, bis da, wo sie sich treffen, so bildet der von ihnen eingeschlossene Winkel den Sehwinkel, Angulus opticus. Oder denkt man sich den Kreisabschnitt, welchen das Auge darstellt, zum Kreis verlängert, und wird dieser Kreis nach Graden, Minuten, Secunden eingetheilt, so drückt die Oberfläche des Auges die Distanz der Puncte auf derselben in Winkelgraden aus. Da nun die relative Grösse der Gesichtobjecte, im Verhältniss zum Objecte, immer von der Lage der Kegel abhängt, welche das Licht der einzelnen Puncte durchlassen, so lässt sich für jedes Object die Grösse des Sehwinkels nach der Distanz der Kegel, welche die Strahlen, die von seinen Grenzen kommen, durchlassen, in Graden, Minuten und Secunden angeben. Gegenstände verschiedener Entfernung, welche ihre Lichtstrahlen doch durch dieselben Kegel zum Auge werfen, haben natürlich gleich grosse Bilder, ihr Gesichtswinkel ist gleich. So erscheint in der Figur pag. 318. ein von der Linie C bis E sich ausdehnender Körper immer unter dem Sehwinkel x, und seine scheinbare Grösse verhält sich zum Sehfeld wie x zu 180^0. Der kleinste Sehwinkel unter welchem ein Insect noch etwas wird unterscheiden können, wird der seyn, der bloss durch die Achsen zweier nebeneinanderliegender Kegel eingeschlossen wird. Da nun viele tausende von Kegeln in einem Auge vorkommen, so lässt sich hiernach auch die Schärfe des Sehens bei diesen Thieren im Allgemeinen abnehmen.

Wenn man der bisherigen Auseinandersetzung gefolgt ist, so wird man einsehen, dass das Auge der Insecten und Krebse keiner Veränderung seines Baues bedarf, mag es zum Sehen in der Luft oder im Wasser bestimmt seyn; denn Alles bleibt sich gleich für das Sehen unter diesen verschiedenen Bedingungen. Auch finden sich zufolge meiner Beobachtungen durchaus keine Unterschiede

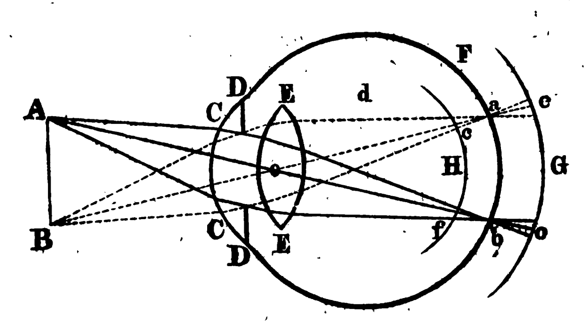
im Bau der Augen bei Luft- und Wasserinsecten. Bei den im Wasser lebenden Thieren mit collectiven Linsen der Augen muss die Brechkraft der Linse stärker seyn, als für das Leben in der Luft, weil der Unterschied der Dichtigkeit zwischen dem umgebenden Wasser und der Linse geringer ist, als zwischen Luft und Linse. Die Brechkraft der Augenmedien kömmt aber bei den Insecten fast gar nicht in Betracht, und jeder Conus repräsentirt sein ihm entgegengesetztes Object, mag es im Wasser oder in der Luft geschehen.

Das vollkommenste Auge eines Insectes wird zuletzt dasjenige seyn, welches durch absolute Grösse des Auges, grosse Anzahl der Kegel und Facetten, und Länge der Kegel deutlich sieht, und durch Grösse des Kugelabschnittes oder Convexität des Auges ein grosses Sehfeld hat.

B. Vom Sehen der Augen mit collectiven dioptrischen Medien.

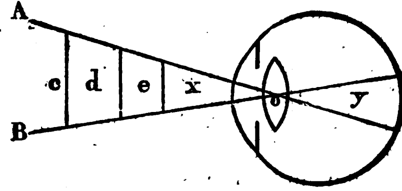
(*Schriften von* Treviranus, Tourtual, Hueck, Volkmann.)

Bei dem zusammengesetzten Auge der Insecten und Crustaceen wird das Sehen von Objecten möglich, dadurch dass von dem auf das ganze Auge auffallenden Lichtkegel jedes einzelnen Punctes, bloss der durch einen gewissen Radius des Auges einfallende Lichtstrahl in die Tiefe des Auges gelangt, das übrige Licht aber ausgeschlossen wird. Bei dem Sehen durch collective Medien wird der von einem Puncte ausgehende Lichtkegel durch Brechung wieder in einen Punct, der sich auf der empfindenden Nervenhaut befindet, vereinigt. Die Brechung durch collective Medien ist aber am Auge des Menschen und der höhern Thiere eine dreifache. Zuerst werden die Strahlen der von den Puncten *A* und *B* und jedem andern Puncte ausgehenden Lichtkegel, durch die Hornhaut *CC* und die wässrige Feuchtigkeit zwischen dieser und der Linse gebrochen, d. h. dem mittlern oder Achsenstrahl zugelenkt; denn diese Medien brechen vermöge ihres Unterschiedes der Dichtigkeit von der Luft und vermöge ihrer Convexität. Zum zweiten Mal geschieht die



Brechung durch die vordere convexe Fläche der Linse *EE*, und die Strahlen der Lichtkegel werden den mittlern oder Achsenstrahlen noch mehr zugelenkt, wegen des Unterschiedes der Dichtigkeit der Linse und der wässrigen Feuchtigkeit und

der Convexität der vordern Linsenfläche. Zum dritten Mal werden die Strahlen des Kegels gebrochen bei dem Uebergang aus dem dichtern Medium der Linse in das dünnere des Glaskörpers. Im vorhergehenden *Capitel p.* 284. wurde bewiesen, dass eine Linse die Strahlen des Kegels, sowohl beim Uebergang aus dem dünnen Medium in die convexe vordere Fläche des dichtern Mediums, als beim Austritt der Strahlen aus der convexen hintern Fläche der Linse in das dünnere Medium den Achsenstrahlen zulenkt. Daher werden die Strahlen der Lichtkegel von *A* und *B* bei *b* und *a* wieder zu Puncten vereinigt, und befindet sich an dieser Stelle die Nervenhaut *F* des Auges, so werden *A* und *B* bei *b* und *a* als vollkommen entsprechende Puncte empfunden. Befände sich aber die Nervenhaut nicht in *a* und *b*; sondern vor oder hinter dieser Stelle, z. B. in *H* oder *G*, so würden statt lichter Puncte, vielmehr lichte Zerstreuungskreise, für *H* die Zerstreuungskreise *c* und *f*, für *G* die Zerstreuungskreise *e* und *o* gesehen werden, denn in *H* sind die Lichtkegel noch nicht zu einem Puncte vereinigt, und in *G* sind sie es ebenso wenig, da sie nach ihrer Vereinigung in *b* und *a* wieder divergiren. Die Nervenhaut *F* muss sich also genau in der gehörigen Vereinigungsweite von der Linse befinden, wenn ein scharfes Bild entstehen soll, d. h. wenn die von einem Puncte ausgehenden Strahlen, auch wieder in einem Puncte vereinigt werden sollen. Im vorigen Capitel wurde bewiesen, dass die Vereinigungsweite des Bildes ferner von der Linse fällt, wenn der Gegenstand näher ist, näher der Linse zurückt, wenn er ferner ist. Die Direction, welche die Strahlen vermöge der Brechung nehmen, hängt übrigens von dem mittlern Strahle der Lichtkegel ab, welchem die seitlichen Strahlen zugelenkt werden. Das Bild eines Punctes entwirft sich also immer in der Richtung der mittlern Strahlen oder Achsenstrahlen *Ba* und *Ab*. Allerdings erleidet auch der Achsenstrahl eines Lichtkegels, wenn er nicht durch die Achse der Linse selbst durchgeht, sondern schief auf die Cornea und Linse auffällt, Ablenkungen von seinem Wege. Sieht man von diesen ab, so wird die Stelle, wo sich ein Bild von einem Puncte auf der Netzhaut entwirft, durch die Verlängerung des Achsenstrahls, oder durch den durch die Mitte der Pupille des Auges durchgehenden Strahl bestimmt. Daher kann man der vorhergehenden Figur die beistehende substituiren.



Ab ist der Achsenstrahl des von *A* ausgehenden, *Ba* der Achsenstrahl des von *B* ausgehenden Lichtkegels, das Bild von *A* erscheint in *b*, das Bild von *B* in *a*, umgekehrt; was im Objecte oben war, erscheint unten, was im Objecte unten war, erscheint oben, und so das rechtseitige erscheint links, das linksseitige im Bilde rechts. Von dem bisher Erörterten kann man sich durch einen Versuch an dem Auge eines Thiers überzeugen. Wird dasselbe von oben vorsichtig ge-

öffnet, so dass man durch den Glaskörper auf die Nervenhaut sehen kann, so sieht man das Bild eines hellen Gegenstandes, z. B. des erleuchteten Fensters eines Zimmers, auf dem Grunde des Auges. Noch leichter geschieht diess, wenn man das leukäthiopische Auge eines Kaninchens, dessen Augenhäute wegen Mangel des schwarzen Pigmentes durchscheinend sind, rein präparirt, mit der vordern Seite gegen ein lichtes Fenster hält, und die hintere durchscheinende Wand des Auges beobachtet. Bei diesem von Magendie angeführten Versuche sieht man ein sehr reines Bildchen des Fensters auf dem Grunde des Auges und zwar Alles umgekehrt.

Den von den kreuzenden Achsenstrahlen zweier Objectspuncte eingeschlossenen Winkel x nennt man den Sehwinkel, Angulus opticus s. visorius. Dieser Winkel wächst mit der Entfernung der Puncte A und B von einander, und da x gleich y, so wächst auch mit dem Sehwinkel x, die Entfernung der Puncte des Bildes a und b auf der Netzhaut. Gegenstände verschiedener Entfernungen, welche gleiche Sehwinkel x haben, z. B. die Gegenstände c, d, e müssen auch gleich grosse Bilder auf der Nervenhaut einnehmen, und wenn sie zu demselben Sehwinkel gehören, muss ihr Bild dieselbe Stelle der Netzhaut einnehmen.

Vorher wurden als Achsenstrahlen diejenigen angenommen, welche durch die Mitte des Sehlochs durchgehen, und also in die Nähe des Mittelpunctes der Krystallinse fallen. Diese Annahme entspricht indess nicht genau der Wirklichkeit, d. h. eine vom Object durch die Mitte der Pupille durchgehende Linie trifft nicht genau das Netzhautbild. Denn auch die mittlern Strahlen eines Lichtkegels erleiden, wenn sie schief auf die Cornea und Linse auffallen, Ablenkungen durch die Brechung. Daraus folgt, dass der wirkliche Richtstrahl für den, von einem Puncte ausgehenden Lichtkegel erst durch Erfahrung und Berechnung gefunden werde, und dass das vom Sehwinkel bemerkte hiernach eine Modification erleidet. Es liegen also die Puncte des Bildes a und b nicht in der Fortsetzung von Bo und Ao. Nun entsteht noch die Frage, wie weit eine vom Object zum Netzhautbild gezogene gerade Linie von dem, durch die Mitte der Pupille, durchgehenden Achsenstrahl abweicht.

Auf eine ausführlichere Erörterung dieses Gegenstandes kann man hier nicht näher eingehen, und nur das Resultat der darüber angestellten Versuche anführen. Volkmann hat darüber dankenswerthe Beobachtungen geliefert, aus denen hervorgeht, dass es einen Punct im Auge gibt, in welchem Linien sich kreuzen, die von verschiedenen Objecten zu ihren Netzhautbildchen gezogen werden, welche Linien er Richtungsstrahlen nennt, und dass der Punct, in welchem sich die Richtungsstrahlen für die Lichtstrahlen verschiedener Lichtkegel kreuzen, weder in der Mitte der Pupille, noch in der Mitte der Linse, sondern hinter der Linse liegt.

Da die Ebene des Auges, auf welcher sich die Bilder formiren, concav ist und sich von der Mitte gegen die Ränder allmählig der Linse nähert, so ergiebt sich, dass die Bilder seitlicher Gegenstände nicht so deutlich seyn können, als die Bilder mittlerer Gegen-

stände, in deren Vereinigungsweite sich die Mitte der Nervenhaut befindet. Die Undeutlichkeit der seitlichen Bilder hat aber auch noch andere Gründe. Denn die Strahlen eines Lichtkegels von seitlichen Gegenständen vereinigen sich, wegen Ungleichheit der Brechung, nicht genau in demselben Puncte. Der Hauptgrund der zunehmenden Undeutlichkeit der Bilder von der Mitte der Netzhaut nach aussen, scheint aber in der Nervenhaut selbst zu liegen.

Da die Lichtstrahlen, welche auf den Randtheil der Linse fallen, eine andere Brechung erleiden, als die mittlern oder Centralstrahlen, durch die Aberration wegen der Kugelgestalt (Siehe oben p. 289.), so war für den Zweck des deutlichen Sehens am Auge eine ähnliche Vorrichtung nöthig, wie an den optischen Instrumenten, nämlich eine Bedeckung des Randtheils der Linse durch ein Diaphragma, die Iris, welche nur die Centralstrahlen durch ihre offene Mitte, die Pupille zulässt. Das Diaphragma des Auges hat aber den Vortheil, dass es beweglich ist, sich erweitern und verengern kann. Indem sich die Pupille in der Dunkelheit und bei geringer Beleuchtung erweitert, kann wenigstens in Menge des Lichtes gewonnen werden, was an Schärfe des Bildes verloren geht. Auch kann das Bild der Randstrahlen bei sehr weiter Pupille unter Umständen scharf seyn, wenn das Bild der Centralstrahlen, weil es nicht in der Vereinigungsweite aufgefangen wird, undeutlich ist, oder gar nicht gesehen wird. Bei enger Pupille, richtiger Sehweite und heller Beleuchtung muss die Schärfe und Deutlichkeit des Bildes am grössten seyn, weil die Lichtmenge in diesem Fall auch bei enger Pupille hinreicht, und die enge Pupille die Entstehung eines undeutlichen Bildes der Randstrahlen von anderer Vereinigungsweite ausschliesst.

Anlangend die Beschaffenheit der Linse, so wird sie um so dichter und convexer seyn müssen, je geringer der Unterschied der Dichtigkeit des Mediums, worin das Thier lebt, und der wässrigen Feuchtigkeit ist. Bei den Fischen ist die Linse kugelrund und die Hornhaut meist flach. Bei den in der Luft lebenden Thieren ist die Hornhaut convexer und die Linse flacher.

Das Innere der Augenwände, hinter der Iris und dem Strahlenkörper, und hinter der Nervenhaut selbst ist mit schwarzem Pigment ausgekleidet. Diese Einrichtung hat denselben Vortheil, wie die Auskleidung der optischen Instrumente auf ihren innern Wänden mit schwarzen Pigment. Dasselbe absorbirt die irgend reflectirten Lichtstrahlen und macht, dass sie nicht zum zweiten Mal zum Grunde des Auges gelangend, die Deutlichkeit der Bilder stören. Diesen Zweck hat das Pigment an der hintern Fläche der Iris und des Corpus ciliare. Aber auch die Auskleidung der hintern Wand der Nervenhaut selbst mit dem Pigment der Choroidea ist in dieser Hinsicht wichtig. Die Nervenhaut ist sehr durchscheinend, befände sich hinter ihr eine, das Licht reflectirende, nicht dunkelgefärbte Haut, so würden die Lichtstrahlen, welche die Nervenhaut selbst schon getroffen haben, durch die Nervenhaut wieder zurück reflectirt werden, und auf andere Stellen dieser Membran fallen, wodurch nicht bloss Blendung durch Uebermass

von Licht, sondern auch Trübung der Bilder entstehen würden. Die Thiere, bei welchen das Pigment der Choroidea fehlt, und die Albinos unter den Menschen befinden sich in diesem Falle. Die Albinos, Leucoäthiopen oder Leucotischen sind von dem Tageslichte leicht geblendet und sehen in der Dämmerung leichter.

Bei mehreren in der Dämmerung lebhaften und jagenden Thieren, die während des Tages träger sind, kommen wohl auch die pigmentlosen oder vielmehr mit weissem Pigment bedeckten Stellen ihrer Choroidea in dieser Hinsicht in Betracht, wie bei den Katzen und anderen lichtscheuen Thieren.

Die Schärfe oder Deutlichkeit des Bildes auf dem mittlern Theil der Netzhaut hängt von sehr Verschiedenem ab, 1) von der vollkommenen Vereinigung der von jedem Puncte kommenden Lichtstrahlen in einem entsprechenden Puncte der Netzhaut oder von der Vermeidung der Zerstreuungskreise, 2) von der hinlänglichen Stärke der Beleuchtung, 3) von den kleinsten Theilchen der Nervenhaut, die einer Perception als von einander verschieden fähig sind. Die erste Bedingung der Deutlichkeit, welche davon abhängt, dass sich die Nervenhaut genau in der Vereinigungsweite des Bildes befinde, begründet die Weite des deutlichen Sehens bei verschiedenen Menschen, welche bekanntlich bald kurzsichtig, bald fernsichtig sind, bald auch in dieser Beziehung keine enge Grenze haben, indem sich ihr Auge nach der verschiedenen Entfernung der Gegenstände und für die Vereinigungsweite des Bildes zu adjustiren vermag. Da jedoch das Vermögen der inneren Veränderungen für das Sehen in verschiedenen Fernen seine Grenzen hat, so giebt es bei jedem Menschen eine Entfernung, in welcher er am deutlichsten sieht, und deren Vereinigungsweite des Bildes dem Stand seiner Nervenhaut von der Linse, und der Brechkraft seiner Augenmedien am meisten entspricht. Man kann diese Distantia visionis distinctae bei der Mehrzahl der Menschen zu 5 — 10 Fuss anschlagen. Gegenstände die dem Auge zu nahe sind, werfen starke Zerstreuungskreise auf die Netzhaut, ein dicht vor das Auge gehaltener schmaler Körper, eine Stecknadel wird daher gar nicht mehr oder nur als Schimmer gesehen. In einer viel grössern Entfernung als 20 Zoll können wenige Menschen noch deutlich die Schrift unterscheiden. Doch bedingt die Brechkraft der Augenmedien hierin grosse Verschiedenheiten. Der Nahsichtige oder Myopische sieht nur das Allernächste deutlich, das Ferne ganz unkenntlich, der Fernsichtige muss einen kleinen, schwer unterscheidbaren Gegenstand in eine grössere Entfernung bringen, wenn er etwas davon sehen soll. Die zweite Bedingung der Deutlichkeit ist die hinreichende Menge des Lichtes, Uebermass sowohl als Mangel an Licht bedingen Undeutlichkeit des Bildes. Endlich hängt die Schärfe der Empfindung von den kleinsten Theilchen der Netzhaut ab, welche einer gesonderten Perception als im Raum verschieden fähig sind. Ein Beispiel hiefür liefern Körper, welche abwechselnd sehr feine, weisse und schwarze Linien zeigen. Kupferstiche in einer solchen Entfernung angesehen, dass die Bilder der weissen und schwarzen Linien zugleich auf Netzhauttheilchen von einer gewissen Grösse fallen, lassen die Grenzen der weissen

und schwarzen Linien nicht mehr erkennen, und bringen nur einen gemischten Eindruck des Grauen hervor, dasselbe gilt von verschieden farbigen, regelmässig abwechselnden, sehr feinen Linien, z. B. von blauer und gelber Farbe, diese bringen dann den gemischten Eindruck Grün hervor. Aus diesem Grunde erscheinen endlich alle Gemische von zwei verschiedenen Farbestoffen, nicht als Gemische, sondern als homogene Mittelfarbe. Es folgt also, dass es Minima in der Nervenhaut giebt, welche die auf sie fallenden Eindrücke zu Einem vermischen, und nicht mehr räumlich unterscheiden, wenn sie im Bilde wirklich räumlich verschieden sind. Es fällt sogleich ein, dass dieses wahrscheinlich die papillenförmigen Endigungen oder stabförmigen Körper der innern Netzhautschicht seyn werden, und es lässt sich vermuthen, dass verschiedene Strahlen, welche nebeneinander auf einen solchen kleinsten Theil der Nervenhaut fallen, nicht mehr als verschieden empfunden werden, dass vielmehr jede Papille nur einen einzigen mittlern Eindruck von allen Einflüssen erhalten und fortpflanzen würde, die sie zu gleicher Zeit treffen. Auf diese Weise würde das Bild auch wieder wie eine Mosaik zusammengesetzt werden, wovon ein einzelnes Element in sich selbst homogen wäre. Die kleinsten Theile der Netzhaut stimmen nun mit den kleinsten empfindlichen Puncten der Netzhaut, in der That ziemlich überein. Der kleinste Gesichtswinkel, unter welchem Viele zwei Puncte unterscheiden können, ist 40″. Daraus berechnet Smith, dass ein kleinster empfindlicher Punct der Nervenhaut $\frac{1}{8000}$ Zoll betrüge. Nach Treviranus Untersuchungen ist der Querdurchmesser der Netzhautpapillen beim Kaninchen 0,0033, bei Vögeln 0,002 — 0,004. 0,003 Mill. sind 0,00011 Zoll, 0,004 Mill. sind 0,00015 Zoll Engl. Der mittlere Durchmesser der Netzhautpapillen zwischen 0,003 und 0,004 oder beiläufig zwischen $\frac{1}{6000}$ und $\frac{1}{10000}$ Zoll angenommen, so würde demnach der kleinste empfindliche Netzhauttheil sehr genau mit dem kleinsten wirklichen Theil der Netzhaut übereinstimmen. Auch E. H. Weber's ältere Messungen der Kügelchen der Netzhaut des Menschen zu $\frac{1}{5000}$ bis $\frac{1}{8400}$ P. Z. stimmen damit sehr zusammen.

Nach anderen Bestimmungen würde indess keine Congruenz herauskommen, und Volkmann macht es wahrscheinlich, dass die Unterscheidung durch die Nervenhaut feiner ist, als es seyn könnte, wenn die Nervenfasern die letzten Elemente wären. Muncke nimmt 30″ als kleinsten Gesichtswinkel an, Treviranus erkannte einen schwarzen Punct von 0,00833″ Durchmesser auf weissem Grunde bis in eine Entfernung von 48″, und Volkmann berechnet daraus den Durchmesser des kleinsten Netzhautbildchens zu 0,000060″. Diese Annahme sei noch zu gering, jedes nur mittelmässige Auge erkenne ein Haupthaar von 0,002″ Durchmesser in einer Entfernung von 30″, was ein Netzhautbildchen von 0,000023″ ergeben würde. v. Baer's Schüler konnte ein Haar von $\frac{1}{60}$ Linie Stärke in einer Entfernung von 28″ noch wahrnehmen, was nach Volkmann ein Netzhautbildchen von 0,0000014″ ergeben würde. Daher schliesst Volkmann, dass ganz abgesehen von dem letzten ausserordentli-

chen Falle, die kleinsten Netzhautbildchen kleiner sind, als die kleinsten Elemente der Retina, deren Masse wir kennen.

III. Innere Veränderungen des Auges für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen.

Dass für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen Veränderungen des Auges nöthig sind, leuchtet schon aus dem Vorhergehenden im Allgemeinen ein. Die Vereinigungsweite des Bildes ist für fernere Gegenstände der Linse etwas näher, für nähere von der Linse etwas ferner. Wie viel der Unterschied in der Vereinigungsweite für das Sehen in die Nähe und Ferne unter den Brechungsverhältnissen des Auges betrage, hat Olbers in seiner trefflichen Schrift *de internis oculi mutationibus. Gött.* 1780. untersucht. Wir schicken zuerst Etwas davon voraus, damit man sich einen deutlichen Begriff von der Grösse der nöthigen Veränderungen mache, um welche es sich handelt. Zufolge seiner Berechnung würde die Entfernung des Bildes von der Cornea, für die beispielsweise genommenen Entfernungen des Gegenstandes von 4, 8, 27 Zoll und eine unendliche Entfernung des Gegenstandes folgende seyn.

Entfernung des Gegenstandes.	Entfernung des Bildes von der Cornea.
unendliche	0,8997 Zoll
27 Zoll	0,9189 —
8 —	0,9671 —
4 —	1,0426 —

Hieraus ergiebt sich, dass für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen von 4 Zoll an bis in eine unendliche Entfernung nur ein Unterschied der Vereinigungsweite von 0,143 Zoll erfordert würde. Demnach würde, wenn die Cornea und Linse ihre Convexitäten behalten, die Entfernung der Netzhaut von der Linse sich für alle Entfernungen des Objectes nur beiläufig um 1 Linie zu verändern brauchen, was entweder durch Verlängerung des Auges oder eine Ortsveränderung der Linse bewirkt werden könnte. Young nimmt die Veränderung zu $\frac{1}{6}$ der Augenachse an.

Begreiflicherweise könnte derselbe Zweck auch ohne Veränderung der Entfernung der Linse und Netzhaut dadurch erreicht werden, dass entweder die Hornhaut oder die Linse ihre Convexität zu ändern vermögen.

Olbers hat auch die Aenderung der Convexität der Hornhaut berechnet, welche für das deutliche Sehen in verschiedenen Entfernungen nöthig wäre. Der Radius der Cornea für die beispielsweise gewählten Entfernungen der Objecte würde folgender seyn.

Entfernung des Objectes.	Radius der Hornhaut.
unendlich	0,333 Zoll
27 Zoll	0,321 —
20 —	0,303 —
5 —	0,273 —

Würde sich der Radius der Cornea auch nur von 0,333 bis 0,300 Zoll ändern können, die Länge des Auges aber um eine halbe Linie wachsen können, so könnte das deutliche Sehen in allen Entfernungen, die über 4 Zoll hinausreichen, stattfinden. Diese Resultate können als Basis der folgenden Untersuchung dienen.

Es scheint gewiss, dass wenn das Sehen in verschiedenen Entfernungen gleich scharf seyn soll, solche Veränderungen im Innern des Auges durchaus nöthig sind. Aber Einige haben diess Vermögen der inneren Veränderung des Auges überhaupt abgestritten, wie unter den älteren De La Hire und Haller, unter den neueren Magendie, Simonoff (*J. d. physiol.* 4. 260.) und Treviranus (*Beiträge zur Anat. u. Physiol. der Sinneswerkzeuge.* 1828. *und Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens.* 1 — 3 *Heft.*); während hingegen die Mehrzahl der Physiker und Physiologen die Wirklichkeit der innern Veränderungen des Auges aus Thatsachen für erwiesen hält. Magendie beruft sich darauf, dass das Bild im Auge des Kaninchens an Deutlichkeit nicht verliere, wenn auch der Gegenstand seine Entfernung verändere, was nicht für alle Fälle richtig ist. G. R. Treviranus ist durch Berechnung der Wirkungen von Linsen von zunehmender Dichtigkeit nach innen zu einem Resultate gelangt, nach welchem bei diesem Baue die Vereinigungsweite selbst für verschiedene Entfernungen der Gegenstände gleich bleiben würde, so dass dann innere Veränderungen für das Sehen in verschiedenen Fernen unnöthig würden.

Bei aller Anerkennung einer so eleganten mathematisch-optischen Behandlung dieses Thema's lassen sich doch die Resultate von Treviranus Berechnung mit der Erfahrung am Auge selbst nicht vereinigen. Kohlrausch hat überdiess die Richtigkeit der Deduction bestritten. Ueber Treviranus *Hypothese* 1837. Vielmehr lässt sich die Wirklichkeit der inneren Veränderungen des Auges für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen, durch einfache und genaue Versuche unbestreitbar beweisen.

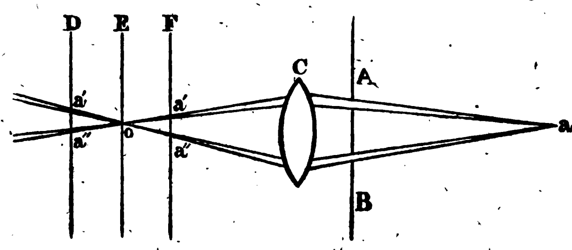
Es sind folgende:

1) Der Accomodations-Zustand des Auges erleidet oft in kurzer Zeit grosse Veränderungen. Nicht bloss erzeugt beständiges Sehen naher Gegenstände bei Kindern Kurzsichtigkeit, oft entsteht dieser Zustand vorübergehend für mehrere Stunden, wenn man lange Zeit durch das Mikroskop gesehen hat. Man unterscheidet dann auf der Strasse zuweilen auf 20 Fuss unsicher, wenn man auch sonst ein sehr gutes Gesicht in die Nähe und Ferne hat. Mir

ist diess oft geschehen. Dieser Zustand dauert zuweilen mehrere Stunden an.

2) Visirt man mit nur einem offenen Auge die sich deckenden Enden in verschiedener Entfernung aufgestellter Nadeln, so erscheint die erste deutlich, wenn die zweite nebelig erscheint, und die zweite deutlich, wenn die erste undeutlich gesehen wird. Beide Bilder liegen in der Achse und decken sich, und doch hängt es von einer willkührlichen, im Auge fühlbaren Anstrengung ab, das erste oder das zweite deutlich zu sehen. Wenn ich also bei kleiner Pupille, wie sie für den nahen Gegenstand ist, diesen fixire, und die Vereinigungsweite seines deutlichen Bildes im Mittelpunct der Netzhaut ist, so bildet der fernere Gegenstand mit den durch die enge Pupille fallenden Centralstrahlen doch einen Zerstreuungskreis um den Mittelpunct der Netzhaut, d. h. diese Centralstrahlen des fernen Gegenstandes haben ihre Vereinigungsweite nicht in der Entfernung der Netzhaut, sondern davor. *Jahrb. f. wissensch. Kritik.* 1829. *Oct.* 623. Der Versuch kann auch so angestellt werden, dass man den Kopf einer Nadel durch die enge Oeffnung eines Kartenblattes visirt. Es hängt von der Willkühr ab, den Rand der Oeffnung deutlich zu sehen, wobei der Nadelkopf undeutlich wird, oder diesen deutlich zu sehen, wobei dann der Rand der Kartenöffnung undeutlich wird. Treviranus hat diesen Erscheinungen nicht die gehörige Aufmerksamkeit gewidmet, und seine Erklärung, dass die Erscheinung von der Versetzung der Nerventhätigkeit auf andere Puncte abzuleiten sei, ist vollends ungenügend. Die beiden Bilder fallen auf denselben Punct der Netzhaut, eine Nadel deckt die andere und doch sehe ich die erstere durch den Zerstreuungskreis der zweiten und die zweite durch den Zerstreuungskreis der erstern. Um Versetzung der Aufmerksamkeit auf andere Puncte der Retina kann es sich also nicht handeln. Ich sehe ein ganzes Blatt mit Lettern undeutlich, sobald ich die Veränderung im Innern des Auges für eine andere Entfernung mache; hier ist gar kein Gegenstand des deutlichen Sehens vorhanden, d. h. die Veränderung ist für eine solche Nähe oder Ferne, in welcher gerade kein Gegenstand da ist oder gesehen werden kann. Vergl. Volkmann und Kohlrausch a. a. O.

3. Scheiner's Versuch. Scheiner *oculus sive fundamentum opticum.* Werden in ein Kartenblatt mittelst einer Stecknadel zwei Oeffnungen gemacht, die einander näher sind als der Durchmesser der Pupille gross ist, und wird durch diese vor ein Auge gehaltenen



Oeffnungen ein kleiner Gegenstand *a* angesehen, so erscheint dieser nur in einer bestimmten Entfernung einfach, in jeder andern aber doppelt. So erscheint er, wenn *A* und *B* die Oeffnungen des Kartenblattes, einfach als *o*, wenn in *E* die Netzhaut ist. Ist aber die Entfernung von *a* grösser und *D* die Netzhaut, so dass das Bild nicht mehr auf die Netzhaut, sondern vor dieselbe in *o* fällt, so kreuzen sich die Strahlen hinter *o*, und auf die Netzhaut *D* fällt das Doppelbild *a′a″*, wovon das untere *a″* verschwindet, wenn die entgegengesetzte oder obere Kartenöffnung *A* verschlossen wird und umgekehrt. Desgleichen wenn die Entfernung von *a* zu klein ist. Denn dann fällt das Bild hinter die Netzhaut *F* in *o* und es erscheinen auf der Netzhaut *F* die Doppelbilder *a′a″*, wovon das untere Bild *a″* verschwindet, wenn die Kartenöffnung derselben Seite *B* geschlossen wird.

Die Consequenzen dieses Versuchs haben ferner Porterfield, Young (*Philos. trans.* 1801.), Purkinje, Plateau, Volkmann erläutert, und der letztere denselben mannigfach variirt. Der Versuch von Scheiner beweist offenbar die Nothwendigkeit der inneren Veränderungen für das deutliche Sehen und die Unrichtigkeit der Hypothese von Treviranus, indem er zeigt, dass das Bild unter gewissen Umständen vor oder hinter die Netzhaut fällt. Hieher gehört auch ein Versuch von Beudant und Crahay. Wird eine Stecknadel in einer Entfernung von 5 — 6 Centimeter vom Auge durch ein Nadelloch in einem Kartenblatt gesehen und das Kartenblatt hin und her bewegt, so bewegt sich die Nadel scheinbar auch, in umgekehrter Richtung. Die Erklärung ergiebt sich aus den Erscheinungen des undeutlichen Sehens, wenn das Bild vor oder hinter die Netzhaut fällt. Im ersten Falle z. B. divergiren die Strahlen von dem Vereinigungspuncte wieder und es entwirft sich ein Zerstreuungskreis auf der Netzhaut. Intercipirt die Karte bei ihrer Bewegung einen Theil der Strahlen, so kommen nur die kreuzenden Strahlen der einen Seite zur Netzhaut. Daher die scheinbare Verrückung des Bildes. Bei diesen Phaenomenen kömmt übrigens auch die Diffraction am Rande der Kartenöffnung in Betracht.

Die Ursachen der Accomodation des Auges für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen können in sehr verschiedenen Theilen gesucht werden: in den Bewegungen der Iris, in der Verrückung der Linse, in der Verlängerung der Achse des Auges, in der Veränderung der Convexität der Hornhaut oder der Linse. Eine Zusammenstellung aller hieher gehörenden Hypothesen haben Haller *elem. physiol. T. V. L. XVI. Sect.* 4. §. 20., Olbers *a. a. O.* und Treviranus *in seiner Biologie.* 6. 512. gegeben, auf welche ich hier verweise.

1. In den Bewegungen der Iris suchten u. A. Mile und Pouillet die Ursache, der erste rechnete auf die Beugung oder Diffraction des Lichtes am Rande der Iris, wodurch sehr verschiedene Vereinigungsweiten für die respectiven Strahlen entstehen, der zweite auf das Sehen durch die Randstrahlen oder Centralstrahlen bei verschiedener Weite der Pupille.

2. In der Verlängerung und Verkürzung der Achse der Linse

suchte Young jenes Vermögen. Hunter und Young schrieben der Linse eine ihr selbst eigene Contractilität zu. *Phil. Transact.* 1794.

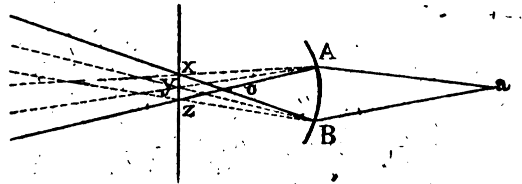
3. Veränderung der Convexität der Hornhaut nahm Home mit Englefield und Ramsden an; sie kann entweder durch die Wirkung der Augenmuskeln nach Home, oder bei Vögeln durch den von Crampton am Orbiculus ciliaris gefundenen eigenen Muskel bewirkt werden.

4. Die Ortsbewegung der Linse durch die Ciliarfortsätze oder die Zonula sahen Kepler, Scheiner, Porterfield, Camper und viele Andere als Ursache an.

5. Endlich suchten Viele die Ursache der innern Veränderung in der Wirkung der Augenmuskeln auf die Gestalt des Auges, als Rohault, Bayle, Olbers, Home, Schroeder van der Kolk, sei es dass man die Gestaltsveränderung des Auges von den geraden, oder von den schiefen Augenmuskeln abhängig machte.

Was zunächst die Iris und Pupille betrifft, so steht die Bewegung der Iris in einem unleugbaren Zusammenhange mit dem Accomodationsvermögen des Auges. Denn beim Sehen in die Ferne ist die Iris weit, beim Sehen in die Nähe eng, und man kann trotz eines starken Lichteindruckes, z. B. bei einer vor das Auge gehaltenen Lampe, doch die Weite der Pupille sehr verändern, wenn man in die Ferne oder Nähe sieht, indem man die Achsen der Augen bald convergirend auf einen nähern Gegenstand, bald mehr parallel auf einen sehr fernen Gegenstand richtet. Indess sind diese Veränderungen der Iris nur von der Bewegung der Augen durch die Augenmuskeln und durch den Einfluss des Nervus oculomotorius auf das Ganglion ciliare und die Irisnerven abhängig. Es sind Mitbewegungen, denn die Zusammenziehung der Iris tritt jedes Mal ein, wenn man auch nur das eine Auge (bei geschlossenem andern), nach innen oder nach innen und oben dreht, und ist insofern als Mitbewegung durchaus an die willkührliche Bewegung mehrerer vom Nervus oculomotorius abhängiger Augenmuskeln geknüpft. Man kann daher keinen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Bewegung der Iris und dem Accomodationsvermögen in jenen Erscheinungen anerkennen. Es fragt sich aber, in wieweit das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen aus den Bewegungen der Pupille erklärt werden könne.

a) Die Erklärung des deutlichen Sehens in verschiedenen Fernen aus den Bewegungen der Iris und aus der Beugung des Lichtes am Rande der Iris durch Mile ist folgende. Magendie *J. d. physiol. VI. p.* 166. Ist *a* ein Punct eines Objectes, welcher seine Centralstrahlen nicht mehr auf der Nervenhaut selbst, sondern vor derselben zur Vereinigung brächte, und also durch seine Centralstrahlen nicht deutlich gesehen werden könnte, so würden dagegen die am Rande der Iris vorbeigehenden Strahlen *aA* und



aB ihre Vereinigung auf der Netzhaut finden. Denn am Rande der Iris findet Beugung der Lichtstrahlen statt und diese werden, statt in der Richtung *Ao* und *Bo*, vielmehr in der Richtung *Ay* und *By* fortgehen und sich in *y* auf der Retina vereinigen. Der Rand der Iris verlängere daher die Stelle, in welcher die Strahlen zur Vereinigung in einem Puncte kommen, über die Vereinigungsweite der Censtralstrahlen hinaus, und da die Beugung gegen den Rand der Iris zunimmt, so vereinigen sich die Strahlen immer weiter hinter der Linse, je näher dem Rande der Iris sie durchgehen. Die Vereinigungsweite der Censtralstrahlen und Randstrahlen sei daher keine bestimmte Entfernung von der Linse, sondern fände in einiger Länge von der Linse ab statt, daher das Auge durch die am Rande der Iris gebeugten Strahlen Etwas noch deutlich sehe, was durch die übrigen Strahlen nicht mehr deutlich gesehen werden könne. Der Fehler dieser Theorie besteht, wie Treviranus und Volkmann zeigen, darin, dass nach derselben nur die wenigen Strahlen zum Bilde benutzt werden, welche am Rande der Iris durchgehen, während sie die grössere Masse des Lichtes vernachlässigt, dass sie ebenso die anderweitigen Vereinigungen der Strahlen, wie z. B. in *x* und *z* vernachlässigt.

b) Pouillet's Erklärung beruht nicht auf der Beugung des Lichtes am Rande der Iris, sondern auf dem Unterschiede der Vereinigungsweite der Centralstrahlen und Randstrahlen, wovon die ersteren durch den mittlern Theil der Linse aus dichteren Schichten, die Randstrahlen nur durch den äussern aus dünnern Schichten bestehenden Theil der Linse durchgehen. Die auf den Centraltheil der Linse fallenden Strahlen sollen nämlich früher als die gegen den Rand der Linse fallenden Strahlen zur Vereinigung kommen. Da sich nun die Pupille beim Sehen in die Ferne erweitere, beim Sehen in die Nähe verengere, so würden beim Sehen in die Nähe die Randstrahlen abgehalten, und bloss die Censtralstrahlen zur Vereinigung gebracht, das Sehen in die Ferne finde dagegen mit den Randstrahlen statt, deren Vereinigungsweite nun mit der Entfernung der Netzhaut von der Linse übereinstimmt, insofern die Vereinigungsweite für ferne Objecte näher ist, als für nahe Objecte. Dagegen bilden bei weiter Pupille und fernem Gegenstande, die sich jetzt vor der Netzhaut vereinigenden Censtralstrahlen Zerstreuungskreise, die nach Pouillet unbeachtet bleiben, wegen der Intensität des Bildes der zur Vereinigung kommenden Randstrahlen. Die früher angeführten Facta über das Visiren zweier hintereinander aufgesteckter Nadeln, oder anderer sich deckender Körper verschiedener Entfernung, widersprechen dieser Theorie durchaus. Visirt man mit nur einem offenem Auge die sich deckenden Enden in verschiedener Entfernung aufgestellter Nadeln, so erscheint die erste deutlich, wenn die zweite nebelig gesehen wird, und die zweite deutlich, wenn die erste undeutlich erscheint. Bei kleiner Pupille für den nahen Gegenstand bildet also der fernere Gegenstand, mit den durch die enge Pupille fallenden Centralstrahlen, doch einen Zerstreuungskreis, indem sich diese Centralstrahlen des fernen Gegenstandes vor der Netzhaut vereinigen. Daraus folgt gegen die Theorie von

Pouillet, dass wenn der fernere Gegenstand fixirt und mit einer weitern Pupille gesehen wird, die Centralstrahlen bei aller Reinheit des von den Randstrahlen erzeugten Bildes nicht verloren gehen können, und wenn sie nicht verloren gehen, so muss die Ursache des deutlichen Sehens in verschiedenen Fernen nicht die von Pouillet angegebene seyn.

c) Diese Bemerkung gilt auch gegen Treviranus Ansicht, in dessen Theorie, ausser der verschiedenen Dichtigkeit der Linse, auch die Veränderung der Pupille ein Element ist. Zufolge seiner Berechnungen sollte eine Linse dann im Stande seyn, Lichtstrahlen von Objecten der verschiedensten Entfernung punctförmig zu vereinigen, wenn die Pupille nach einem näher von ihm angegebenen Gesetz, das Verhältniss der Randstrahlen zu den Centralstrahlen modificirt.

Gegen alle Hypothesen, welche das Accomodationsvermögen direct von der Bewegung der Iris ableiten, lässt sich endlich mit Volkmann anführen, dass wenn die Veränderung der Pupille das einzige Hülfsmittel der Accomodation wäre, jede Veränderung der Pupille durch das Licht auch eine Veränderung im Accomodationszustande hervorbringen müsste, was nicht der Fall ist. Auch das deutlich sehen eines Gegenstandes durch eine künstliche Pupille von Kartenpapier und das fortbestehende Vermögen, von zwei hintereinander stehenden visirten Nadeln die erste oder zweite nach Willkühr deutlich zu sehen, beweist klar genug, dass die letzte Ursache der Accomodation nicht in Veränderung der Grösse der Pupille liegt, und dass, wenn sich die Pupille nach der Entfernung verändert, diess mittelbar von etwas Anderem abhängig seyn muss. Sehe ich durch eine punctförmige Oeffnung eines Blattes, das dicht vor die Cornea gehalten wird, auf die Lettern eines 15 Zoll entfernten Buchs, so hängt es bei dieser stabilen Pupille von meinem Willen ab, unter Anstrengung des Auges deutlich oder undeutlich zu sehen.

Was die Hypothese von der Veränderung der Convexität der Hornhaut betrifft, so scheint sie bereits aus den von Olbers gelieferten Thatsachen widerlegt; denn Aenderungen im Radius der Hornhaut von 0,273 Zoll bis 0,333 Zoll sind an der Hornhaut durch Zusammendrückung des Auges, vermöge der Augenmuskeln nicht möglich. Home und Ramsden wollen zwar solche Veränderungen am lebenden Auge beim Sehen in verschiedenen Fernen gesehen haben, aber Young konnte es nicht bestätigen und überhaupt ist bei der Beweglichkeit des Auges kein genauer Versuch in dieser Hinsicht möglich. Am zweckmässigsten scheint noch die von der Oberfläche der Hornhaut reflectirten Bilder, z. B. das Bildchen vom lichten Fenster zu beobachten und zu sehen, ob es seine Grösse und Stellung bei der Veränderung der Sehweite für Puncte, die in derselben Direction liegen, ändert.

Die Erklärung der Accomodation des Auges durch Zusammendrückung des Auges, vermöge der Augenmuskeln hat auch ihre Schwierigkeiten. Allerdings lassen sich die Thatsachen daraus erklären, aber diess ist kein Beweis für die Richtigkeit der Ansicht, da sich die Thatsachen möglicherweise auf sehr verschie-

dene Weise erklären lassen. Eine Verlängerung des Auges in der Richtung seiner Achse durch die geraden Augenmuskeln, wie sie Olbers angenommen, ist schwer denkbar, wie Treviranus mit Recht bemerkt. Durch den Druck dieser Muskeln soll der Glaskörper nach hinten und vorn gedrängt werden. Allein die Augenmuskeln ziehen das Auge nur nach hinten, findet ein Widerstand von Seiten des Fettpolsters statt, so kann das Auge eher abgeplattet, als verlängert werden; hierdurch würde aber nur das Sehen in der Ferne befördert werden, bei welchem die Vereinigungsweite kürzer ist. Aber man fühlt nur beim Sehen in grosser Nähe eine innere Anstrengung in der Orbita. Viel leichter ist die Zusammendrückung und Verlängerung des Auges durch die schiefen Muskeln möglich, welche das Auge seitlich gegen die innere Wand anzuziehen vermögen. Auf diese Weise haben Le Camus, Rohault, Schroeder van der Kolk die Accomodation erklärt. Damit stimmt sehr gut, dass die Augen beim Nahesehen immer stärker convergiren müssen, und hierbei könnten die schiefen Muskeln wirken, wie in der Schrift von Luchtman's *de mutatione axis oculi secundum diversam distantiam objecti. Trajecti ad Rh.* 1832. scharfsinnig auseinandergesetzt ist. Aber auch dieser Erklärung und jeder andern, welche die Accomodation aus der Wirkung von Augenmuskeln erklärt, stehen Gründe entgegen. Das Auge kann schnell durch locale Einwirkung von Narcotica einen ganz andern Accomodationszustand erlangen, während sich die Pupille zugleich sehr erweitert. Diese Erscheinung kann nicht wohl durch Fortleitung des Narcoticums von der Conjunctiva auf die Augenmuskeln und ihre Nerven erklärt werden, da die Imbibition nur das Eindringen auf eine beschränkte Tiefe erklärt. Ueberdiess ist nach einer solchen localen Narcotisation die Bewegung der Augen durch die schiefen Muskeln nicht im geringsten gestört. Die fragliche Erscheinung wird am leichtesten durch Eintröpfelung von einigen Tropfen einer dünnen Auflösung von Belladonnaextract auf die Conjunctiva hervorgebracht. Nach einiger Zeit (1 Viertelstunde) wird die Pupille sehr weit, und nun zeigt sich zugleich der mittlere Accomodationszustand des Auges ganz verändert, ohne dass jedoch das Vermögen selbst aufgehoben wäre. Die Beobachtungen über diesen Gegenstand sind sehr zahlreich. Die meisten Beobachtungen sprechen dafür, dass Weitsichtigkeit durch den Einfluss der Narcotisation entstehe, welchem Purkinje und ein Theil der Versuche von Volkmann widersprechen. Ich beziehe mich auf die Versuche, welche ich in meiner Schrift *über die Physiologie des Gesichtssinnes p.* 200 mittheilte. Ich sehe in jeder Entfernung gut. Merkwürdig war, dass durch das Einträufeln von Belladonnaextract in ein Auge, auch das andere afficirt war. Das gesunde Auge hatte, wenn beide Augen offen waren, einen Refractionszustand für die allernächsten Gegenstände und nur diese erschienen deutlich, während das kranke Auge in der Nähe nicht deutlich unterschied. Sollten beide Augen sich für deutliches Sehen in verschiedenen Fernen einrichten, so sah bald das eine, bald das andere deutlicher. Aenderte sich das kranke Auge für nahe Gegenstände, so wurde unwillkühr-

lich das gesunde für die nächsten eingerichtet. Es hatte also das kranke Auge bei seiner Weitsichtigkeit doch keineswegs das Vermögen der innern Einrichtung ganz eingebüsst. Auch war trotz der sehr weiten Pupille die Fähigkeit zur Bewegung der Iris in dem kranken Auge nicht ganz verloren gegangen. Das kranke Auge sah willkührlich bald in der Nähe, bald in der Ferne deutlicher, und bei dem Blick in die Ferne war die Iris fast ganz zurückgezogen, bei dem willkührlichen Blick in die Nähe verengerte sich wieder die Pupille um etwas durch Contraction der Iris. Sahen beide Augen gleichzeitig, so waren in der Regel Doppelbilder vorhanden und zwar war bald das Spectrum des gesunden, bald das des kranken Auges deutlich, je nachdem der gemeinschaftliche Nisus, das Object in die Accomodation des deutlichen Sehens des einen oder andern Auges brachte. Wenn das kranke, weitsichtige Auge sich für das deutliche Sehen der nahen Gegenstände mit Anstrengung einrichtete, waren die Bilder fast um $\frac{1}{3}$ des Natürlichen kleiner, während die undeutlichen Nebenbilder des gesunden Auges, das unter diesen Umständen nur dicht vor ihm selbst deutlich sah, ihre natürliche Grösse beibehielten.

Sieht man von den bisher erörterten Hypothesen ab, so würden noch diejenigen übrig bleiben, welche die Ursache der Accomodation im Innern des Auges und zwar in Veränderung der Stellung oder Convexität der Linse durch den Ciliarkörper oder die Zonula suchen. Obgleich sich diese Hypothesen nicht gerade widerlegen lassen, so lassen sie sich auch nicht geradezu beweisen, und das ist überhaupt der Stand der Frage, dass sich nämlich die Erscheinungen als auf verschiedene Weise möglich erklären lassen, dass aber die Richtigkeit irgend einer Erklärung nicht vorliegt. Unter diesen Umständen dürfte es zweckmässiger seyn, einige wichtigere Facta hervorzuheben, welche in keiner der erwähnten Erklärungen bekannt geworden, und zwar nicht über die Ursachen des Vermögens Aufschluss geben, doch über seinen innigen Zusammenhang mit andern Erscheinungen unterrichten. Die Untersuchungen, welche ich im Jahre 1826 über Doppeltsehen und Einfachsehen anstellte, führten mich zugleich auf den innern Zusammenhang zwischen den Bewegungen des Auges zur Accomodation und den Bewegungen der Augen oder Augenachsen selbst, einen Zusammenhang, der ebenso innig ist wie derjenige zwischen der Accomodation und den Bewegungen der Iris und derjenige, zwischen den Bewegungen der Iris und den Bewegungen der Augenachsen. Fast Alle, die über die inneren Veränderungen des Auges für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen geschrieben, haben diesen wichtigen Umstand übersehen. Porterfield war der einzige ältere Forscher, wie Volkmann zeigt, dem diese Erscheinungen bekannt waren.

So wie die Iris sich mit der Stellung der Augen nach innen constant verengert, mit der Stellung nach aussen oder in parallele Richtung erweitert, so tritt bei der Stellung der Augen nach innen unwillkührlich die Accomodation des Auges für das Deutlichsehen der Nähe ein, und mit der Entfernung der Sehachsen hin-

wieder bis zum Parallelismus ändert sich auch die Accomodation des Auges für das Fernsehen bis zum Deutlichsehen in die weiteste Ferne. Es ist bekannt, dass man einen Gegenstand deutlich sieht, wenn man ihn fixirt, d. h. wenn man beide Augenachsen auf ihn richtet, aber es ist ebenso Thatsache, dass ein Gegenstand undeutlich gesehen wird und dass das Accomodationsvermögen dann verloren wird, wenn er ausser den Sehachsen liegt, selbst wenn die seitlichen Theile der Netzhaut sonst scharf sehen würden. Die falsche Stellung der Augenachsen bedingt eine falsche Accomodation, die falsche Accomodation bedingt die falsche Augenstellung und beiderlei Bewegungen sind durchaus in einer gewissen Grenze aneinander gebunden. Wird die Accomodation beim Sehen eines Gegenstandes für eine grössere oder geringere Ferne genommen, so erscheint er auch doppelt, d. h. dann vereinigen sich die Augenachsen nicht in ihm.

Ist z. B. *a* das Object, in welchem sich die Augenachsen vereinigten und sucht man es undeutlich zu sehen, indem man die Accomodation für den imaginären Gegenstand *d* eintreten lässt, so werden auch sogleich die Augen auf *d* gerichtet, daher *a* doppelt gesehen wird, indem es für *A* in *b*, für *B* in *c* erscheint. Diese Doppelbilder von *a* sind so undeutlich als es die für das fernere *d* eingerichtete Accomodation zulässt. In dem Mass als die Accomodation für *d* sich der Accomodation für *a* annähert, in demselben Mass werden auch die Doppelbilder nicht allein deutlicher, sondern auch einander genähert, bis sie bei der Accomodation für *a* zusammenfliessen, indem die Augenachsen dann in *a* sich kreuzen. Von den Doppelbildern gehört *b* dem entgegengesetzten Auge *A*, *c* dem entgegengesetzten Auge *B* an. Daher verschwindet *b*, wenn das Auge *A* geschlossen wird; und *c*, wenn das Auge *B* geschlossen wird. Jedesmal liegen die Doppelbilder auf der entgegengesetzten Seite, wenn die Accomodation für eine hinter dem Gegenstand *a* liegende Ferne erzwungen wird. Ist hingegen *d* der Gegenstand, auf welchen die Augen gerichtet sind, und erzwingt man eine Accomodation für den imaginären Punct *a*, so wird der Gegenstand *d* nicht allein undeutlich, sondern auch doppelt, denn die Augenachsen richten sich mit der Accomodation für *a*, auch unwillkührlich auf *a*; *d* liegt dann seitwärts der Augenachse *Ab* und seitwärts der Augenachse *Bc*, erscheint daher doppelt und undeutlich. Mit dem Grad der Undeutlichkeit nimmt die Entfernung der Doppelbilder zu. Die Doppelbilder liegen in diesem Falle auf derselben Seite, mit dem Auge, dem sie angehören, *d* das Doppelbild von *A*, liegt von *a* ab auf der Seite des Auges *A*, das Doppelbild von *d* für *B*, liegt vom einfachen *a* ab, nach der Seite von *B*, wie die Zeichnung erweisst.

Die genannten Wirkungen bedingen sich gegenseitig, selbst wenn ein Auge verdeckt ist, und dadurch lässt sich eben beweisen, wie sie von einander abhängig sind.

In beistehender Figur sei *a* das freie, *b* das geschlossene Auge, *x*, *d*, *e*, *f* seien die in der Sehachse des Auges *a* gelegenen Gegenstände verschiedener Entfernung. Sieht nun *a* den Punct *x* deutlich, so ist die Sehachse, auch des verdeckten Auges *b*, unwillkührlich auf den Punct *x* gerichtet, und wird das verdeckte Auge frei, so erscheint *x* einfach im Convergenzpuncte beider Sehachsen. Geht nun das Auge *a* aus dem Refractionszustande für *x*, in andere Refractionszustände für fernere Gegenstände der Linie *af* über, z. B. für *e*, für *f*, so wird stillschweigend das verdeckte Auge auch auf *e* oder *f* gerichtet.

Umgekehrt vermag man willkührlich, durch Veränderung der Neigung der Sehachsen, die Accomodation zu verändern, und diese Veränderungen sind so gleichzeitig, wie die Verengung und Erweiterung der Pupille mit der grössern oder geringern Neigung der Augenachsen. Sind z. B. die Augenachsen von *a* und *b* auf den imaginären Punct des Raums *d* gerichtet, und erscheint also *x* doppelt, für das Auge *a* in der Richtung *af*, für das Auge *b* in der Richtung *bc*, so sind die Doppelbilder *x* auch undeutlich, weil der Refractionszustand für *d* ist. Bleibt die Augenachse *af* unverändert, bewegt sich dagegen die Augenachse *bd* in die Stellungen *be*, *bf* u. s. w., so dass die Neigung der Sehachsen abnimmt, so verändert sich auch der Refractionszustand für *e*, *f* u. s. w. während die Doppelbilder *x* immer undeutlicher werden. Die eine Augenachse, nämlich die des offenen Auges kann unverändert bleiben, ändert sich aber die des geschlossenen Auges heimlich, so ändert sich auch der Accomodationszustand des offenen Auges. Vergl. Porterfield *a treatise on the eye. Edinb.* 1759. *I. p.* 410. Volkmann *a. a. O. p.* 144.

Bei grossen Entfernungen der Gegenstände können, da die Veränderung des Refractionszustandes zuletzt eine Grenze hat, den Augen aber jede beliebige Stellung zu einander gegeben werden kann, Ungleichheiten zwischen beiden eintreten. Z. B. wenn man den Mond mit nur einem Auge fixirt, das andere aber durch einen vorgehaltenen Gegenstand verdeckt ist, so trifft die Achse des verdeckten Auges, trotz der Accomodation für die Entfernung des Mondes, nicht genau in ihrer Stellung mit der Achse des offenen Auges im Monde zusammen. Denn wenn das verdeckte Auge frei wird, sieht es ein Doppelbild, worauf sehr schnell die Doppelbilder beider Augen sich vereinigen, indem das Schwanken der Augenachsen schnell corrigirt wird. Dieser Versuch, den ich angab,

ist einem Beobachter nicht gelungen. Ich erwähne ihn nochmals, weil er mir immer dasselbe Resultat giebt. Treviranus Erklärung davon ist ungenügend.

Aus diesen Thatsachen ergiebt sich, dass die Veränderung der Augenachsen gegeneinander, Veränderung der Accomodation bedingt, selbst dann, wenn nur das geschlossene Auge seine Stellung gegen das offene verändert. Es ist gerade so mit den Bewegungen der Iris, bleibt das eine offene Auge unveränderlich nach einem Punct gerichtet, bewegt sich aber das geschlossene Auge, so ändert sich die Grösse der Pupille auch in dem offenen Auge durchaus, wie es die Convergenz der Sehachsen erfordert, und dadurch hat man eine scheinbare Willkühr über die Pupille, wovon im 1. Bd. gehandelt worden. Die Bewegung der Iris mit den Augenachsen sahen wir als eine Mitbewegung an, da sie nur eintritt bei der Wirkung der vom N. oculomotorius versehenen Muskeln, welcher auch die Bewegungsnerven der Iris durch die kurze Wurzel des Ganglion ciliare abgiebt. So mag auch die Accomodation eine Mitbewegung mit der Bewegung der Augenmuskeln nach innen seyn, die entweder durch einen nähern organischen Zusammenhang in der Nervenwirkung, oder durch Gewohnheit eingetreten ist. Die Mitbewegung der Iris mit der Bewegung der Augenachsen hat indess schwerlich ihren Grund in einer angewöhnten Verbindung.

Es giebt auch einigen geringen Einfluss der Willkühr auf die Accomodation, ohne dass die Achsen der Augen sich nothwendig verstellen, und dieser Umstand zeigt eben, dass jene Verbindung secundär, aber nicht eines die constante Ursache des Andern ist. Plateau hat eine Beobachtung an sich mitgetheilt, dass das Undeutlichwerden der Gegenstände durch Abänderung des Refractionszustandes auch ohne Veränderung der Stellung der Augen erzwungen werden kann, durch eine willkührliche Anstrengung des Auges. Auch ich bemerkte schon früher, dass manchmal bei grosser Anstrengung uns wirklich das Undeutlichsehen ohne Doppelbilder, jedoch nur sehr flüchtig zu gelingen scheine, erinnerte aber, dass auch bei dieser Art des Undeutlichsehens, ohne örtlich getrennte Doppelbilder diese doch vorhanden seien, nur zum Theil sich decken. Versuche, die ich seither an mir anstellte, bestimmen mich mit Plateau vollkommen übereinzustimmen, dass man nämlich, so sehr auch der Refractionszustand des Auges an die Veränderung der Neigung der Sehachsen geknüpft ist, doch mit grosser Uebung bei unveränderter Stellung der Sehachsen auf einen Gegenstand, diesen durch willkührliche Veränderung des Refractionszustandes undeutlich sehen kann, indem man den Refractionszustand für eine andere Ferne ändert. Die Iris verändert sich auch, wie Plateau zeigt, bei diesem Undeutlichsehen, indem die Pupille weit wird bei dem Refractionszustand für das deutliche Sehen in der Ferne und umgekehrt. Diess wäre ein Beispiel von fast rein willkührlicher Bewegung der Iris, in sofern in diesem Falle die Bewegung wenigstens nicht an die willkührliche Bewegung der Augenmuskeln nach innen und oben geknüpft ist. Muell. *Archiv.* 1837. *CL.*

Es zeigen sich hier abermals, wie in allen vorher beschriebenen Phänomenen, die Bewegung der Iris und die Veränderung des Refractionszustandes auf das innigste mit einander verbunden, und doch sind wir nicht berechtigt, der Bewegung der Iris selbst einen mittelbaren Einfluss auf die Accomodation zuzuschreiben. Man hat schon vermuthet, dass die Bewegung der Iris auch auf das Corpus ciliare und so auf die Stellung der Linse wirken könne, in sofern das Corpus ciliare mit dem äussern Umfang der hintern Fläche der Iris stark verwachsen ist. Indess lässt sich doch diese Hypothese bestimmt widerlegen. Denn die Veränderungen der Iris werden auch durch das Licht bestimmt. Wir sehen aber dasselbe Object deutlich, mag es hell beleuchtet und demgemäss die Pupille enger, oder das Auge dabei beschattet und die Pupille weit seyn. Vergl. Volkmann *a. a. O. p.* 156. Es bleibt daher immer noch am wahrscheinlichsten, dass die Accomodation von einem Organ abhängt, das sich zwar leicht mit der Iris zugleich bewegt, aber auch eine gewisse Unabhängigkeit davon behaupten kann. In der That lässt sich per exclusionem am wahrscheinlichsten machen, dass das Corpus ciliare diese Beweglichkeit besitze und auf die Stellung der Linse einwirke, aber an positiven Beweisen für die Contractilität des Corpus ciliare fehlt es gänzlich.

Nach der Extraction der Linse durch die Staaroperation ist das Accomodationsvermögen, sowohl nach Young's als Volkmann's Beobachtung vermindert.

IV. Von der Myopie und Presbyopie, den Mitteln sie zu verbessern und von den Augengläsern.

1. Undeutlichkeit der nächsten Objecte. Wirkung der Diaphragmen.

Das deutliche Sehen in der grössten Nähe dicht vor dem Auge hat bei allen Menschen eine Grenze. Gegenstände, welche nur 1—3 Zoll oder noch weniger vom Auge entfernt sind, bringen kein deutliches Bild mehr hervor, weil die Vereinigung ihrer Lichtstrahlen bei allen Menschen hinter die Netzhaut fällt. Sind die Gegenstände klein, so erzeugen sie nur einen Schimmer, und die entfernten Gegenstände werden durch diesen Schimmer hindurchgesehen, obgleich der vor das Auge gehaltene kleine Gegenstand den mittlern Theil der Pupille verdeckt. Das Sehen der entfernten Gegenstände, durch den Schimmer des nächsten, erklärt sich daraus, dass wenn auch der vorgehaltene kleine Körper diejenigen Strahlen des entfernten Körpers abhält, welche durch den mittlern grössten Theil der Pupille durchgehen sollten, doch noch am Rande des vorgehaltenen Körpers, Strahlen des entfernten Körpers vorbeigehen, welche ins Auge gelangen. Hieraus ergiebt sich als Bedingung, dass wenn ein entfernter Gegenstand durch den Schimmer eines nahe vor das Auge gehaltenen hindurch gesehen werden soll, der letztere kleiner als die Pupille sein müsse, der entferntere wird dann durch die Randstrahlen

gesehen. Selbst in dem Falle, dass der nächste Körper die Pupille fast ganz deckt, werden doch noch die peripherischen Strahlen der Lichtkegel des entfernten Körpers, durch Beugung an den Rändern des vorgehaltenen Körpers ins Auge gelangen und ein Bild hervorbringen.

Man sieht einen entfernten Gegenstand auch durch die im äussern Umfange der Linse durchgehenden Strahlen oder Randstrahlen, wenn man ihn am Rande eines andern vorgehaltenen Körpers vorbei sieht. Es ist bekannt, dass wenn man einen fernen Körper betrachtend, einen zweiten nähern von der einen Seite vorschiebt, der entferntere Körper sich etwas verschiebt und zu erweitern scheint, so bald ihm der Rand des nächsten nahe kommt. Diess scheint theils von dem Sehen des fernen Körpers durch Randstrahlen der Linse, theils auch von der Beugung des Lichtes am Rande des vorgehaltenen Körpers abzuhängen.

Der Schimmer, welchen ganz nahe kleine Gegenstände statt eines Bildes hervorbringen, wird um so grösser seyn, je weiter die Pupille ist. Denn da der Zerstreuungskreis für jeden Punct des Gegenstandes ein Durchschnitt durch den Lichtkegel ist, welcher durch die Pupille durchgeht, so wird auch der Zerstreuungskreis für jeden Punct des Gegenstandes um so grösser seyn, je weiter die Pupille ist. Der Schimmer eines ganz nahen, vor das Auge gehaltenen Gegenstandes, z. B. einer Nadel entsteht aber durch die sich deckenden Zerstreuungskreise aller Puncte des Bildes. Hieraus erklären sich einige interessante Phänomene. Hält man eine Stecknadel in der Entfernung vom Auge, dass sie zwar noch ein Bild, aber ein nebeliges hervorbringt, so ist die Grösse dieses Schimmers grösser oder kleiner, je nachdem man das Auge beschattet oder beleuchtet, d. h. je nachdem die Iris sich erweitert oder zusammenzieht. Hieran hat man eine herrliche Gelegenheit die Bewegung der Iris des eigenen Auges in einem Gesichtsphänomen zu sehen.

Unter gewissen Bedingungen sieht man aber auch noch in der grössten Nähe vor dem Auge deutlich, und die Gegenstände sehr vergrössert, ohne dass Augengläser angewendet werden. Diess geschieht jedesmal, wenn man ganz nahe Gegenstände durch eine feine Oeffnung eines Kartenblattes betrachtet. Henle, der sich viel mit dieser Erscheinung beschäftigt, hat mich auf das Phänomen und seine Ursachen aufmerksam gemacht. Lecat, Monro und Priestley hatten das Phänomen gekannt. Sieht man z. B. die ganz dicht vor das Auge gehaltene Schrift eines Buchs an, so erkennt man keinen Buchstaben mehr, sieht man sie aber in derselben Nähe durch die mit Nadel gemachte Oeffnung eines Papierblattes, das man dicht vor das Auge hält, an, so erscheint sie sogleich sehr deutlich und die Buchstaben und ihre weissen Zwischenräume sind stark vergrössert. Es könnte daran gedacht werden, dass das Deutlichsehen von der Isolirung der Centralstrahlen der nahen Objecte durch die enge Oeffnung abhänge, und dass die Centralstrahlen, wegen grösserer Dichtigkeit des Kernes der Linse, früher zur Vereinigung gebracht würden,

(während sie bei einer überall gleich dichten Linse später, als die Randstrahlen zur Vereinigung kommen). Aber dann dürfte die Grösse der Objecte nicht wachsen. Wendet man dagegen ein, dass die Vergrösserung der Gegenstände nur scheinbar sei, indem man beim Sehen der nahe gehaltenen Schrift ohne die Kartenöffnung, nur den Kern der Zerstreuungsbilder, nicht aber die ganze Grösse der Bilder in Anschlag bringe, so wird dieser Einwurf leicht durch eine nähere Vergleichung, der gleichzeitigen Bilder beider Augen widerlegt, wovon das eine die ganz nahen Buchstaben frei, das andere durch die Kartenöffnung ansieht. Denn die weissen Spatien, sowie die Buchstaben erscheinen dem letztern grösser, und indem man beide Bilder nebeneinander sieht, erkennt man, dass auf einen Raum des einen Bildes, auf welchen 3 Linien Schrift gehen, im andern Bilde nur 2 gehen. Lecat (*traité des sens. p.* 305.) und Priestley (*Geschichte der Optik p.* 391.) leiten das Phänomen von der Beugung des Lichtes an den Rändern der Kartenöffnung ab und der erstere beruft sich auf die Veränderung des Umrisses eines fernen Körpers, den man am Rande eines Stäbchens visirt. Der Rand des fernen Körpers erweitert sich nämlich, wenn man den vorgehaltenen Stab vorschiebt. Allerdings lässt sich die Schärfe, womit man die durch eine Kartenöffnung gesehenen allernächsten Objecte erkennt, durch Inflexion erklären. Bei der Inflexion oder richtiger Diffraction des Lichtes wird es nach zwei Seiten hin von seiner Richtung abgelenkt. Der äussere Theil der am Rande der Kartenöffnung inflectirten Strahlen fällt noch weiter hinter die Netzhaut, als es schon die Strahlen von sehr nahen Gegenständen thun. Diese Strahlen bringen dann gar kein Bild mehr hervor. Der innere Theil der am Rande der Kartenöffnung inflectirten Strahlen kömmt nun näher zur Vereinigung, fällt also nicht mehr hinter die Netzhaut, sondern auf dieselbe und daher die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes, trotz der geringen Menge des dazu nöthigen Lichtes. Die Grössenzunahme des Bildes lässt sich aus dieser Theorie nicht gut einsehen.

Es lässt sich mit Henle noch eine andere Erklärung der Erscheinung aufstellen. *ab* sei der dicht vor das Auge gehaltene Körper, *AB* die brechenden Medien, *C* die Nervenhaut. Der Lichtkegel des Punctes *b* kommt in *e*, der Lichtkegel von *a* in *f* zur Vereinigung. Dann ist *be* der Hauptstrahl des Lichtkegels von *b*, *af* der Hauptstrahl des Lichtkegels von *a*. Die Vereinigungspuncte *e* und *f* liegen hinter der Netzhaut, weil das Object dem Auge zu nahe ist. *b* wird also mit dem Zerstreuungskreis *a'b'* gesehen, *a* wird mit dem Zerstreuungskreis *αβ* gesehen. Wird nun das Kartenblatt mit der kleinen Oeffnung *o* zwischen das nahe Object und das Auge geschoben, so werden die Lichtkegel abgeschnitten

bis auf die Lichtbündel *bc* und *ad*, welche durch die Oeffnung *o* durchgehen. Das Bild von *b* wird daher ohne Zerstreuungskreis in *a'*, das Bild von *a* ohne Zerstreuungskreis in *β* gesehen. Die Beugung kann mitwirken, und bewirken, dass das durch die Kartenöffnung durchgehende fadenartige Lichtbündel nur einen Punct auf der Netzhaut darstellt.

Das Bild erscheint grösser, da die Entfernung der peripherischen Strahlen *a'* und *β* beider Kegel grösser ist, als die Entfernung der Hauptstrahlen beider Kegel.

2. Kurzsichtigkeit, Fernsichtigkeit. Brillen und Optometer.

Manche Menschen besitzen das Vermögen der inneren Veränderung des Auges für das Sehen in verschiedenen Fernen gar nicht, oder doch so wenig, dass sie nur in einer bestimmten Entfernung unterscheiden, kurzsichtige oder fernsichtige sind. Es ist unmöglich einem solchen zu beweisen, dass das Auge die Fähigkeit habe sich für das Sehen in verschiedenen Fernen einzurichten, und so mag es Treviranus und noch Andern gegangen seyn. Die Kurzsichtigkeit wird am häufigsten im mittlern Lebensalter beobachtet. Im Alter trifft man häufiger Fernsichtigkeit. Man sieht die Ursache dieser Fehler sehr oft in den brechenden Medien, in der Form der Hornhaut und in der That ist die Hornhaut der Greise flacher als in der Jugend, aber die Hornhaut der Kinder ist am gewölbtesten und doch leiden die Kinder, wie Volkmann bemerkt, nicht häufig an Kurzsichtigkeit. Die Myopie und Presbyopie mögen richtiger in Hinsicht ihrer nächsten Ursache von einem Mangel des Accomodationsvermögens oder von grosser Schwäche dieses Muscularactes abgeleitet werden. Dann sieht natürlich das Auge nur in einer bestimmten Sehweite deutlich, welche der Form der brechenden Medien des Auges am angemessensten ist. Dass die Myopie und Presbyopie mehr in der Veränderung oder dem Verluste des Vermögens der Accomodation liegt, sieht man daraus, dass man sich methodisch die Kurzsichtigkeit anerziehen kann, wenn man das Fernsehen vernachlässigt. Kinder machen sich kurzsichtig, dass sie sich beim Lesen und Schreiben mit dem Gesicht zu dicht aufs Papier legen. Der beständige Gebrauch des Mikroskops kann kurzsichtig machen und macht es oft vorübergehend für einige Stunden. Auch die Brillen wirken in dieser Hinsicht nachtheilig, indem sie das Auge entwöhnen, durch Accomodation in der Nähe und Ferne deutlich zu sehen.

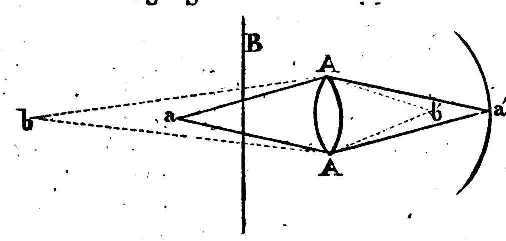
Zuweilen haben beide Augen einen andern mittlern Refractionszustand fürs ganze Leben, nicht immer ein Unterschied in der Pupille beobachtet wird. Dieser Zustand kann auch anerzogen werden durch vorzugsweisen Gebrauch des einen Auges beim Sehen naher Gegenstände, beim Sehen durch das Mikroskop und dergleichen. Am schnellsten tritt diese Ungleichheit durch Narcotisation eines Auges ein, vermöge einiger Tropfen von der Auflösung des Belladonnaextractes. Siehe oben p. 333. In allen diesen Fällen können beide Augen, trotz ihres ungleichen mittlern Refractionszustandes, oder ihrer mittlern Sehweite, doch

noch das Vermögen der Accomodation besitzen, auch wirkt die willkührliche Accomodation des einen Auges auf das andere, aber beide Augen bleiben sich ungleich.

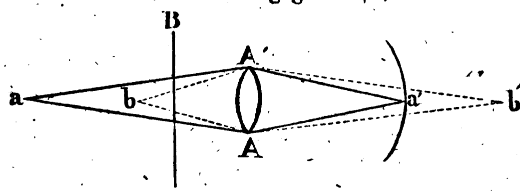
1 Drücken beide nebenbei stehende Zahlenreihen das Stei-
2 gen der Accomodation in beiden Augen aus, so ist
3 1 mit der Accomodation 3 im Auge *A*, die Accomodation
4 2 1 im Auge *B* gleichzeitig, steigt *A* bis zu 5, so steigt *B*
5 3 um ebenso viel, aber nur bis 3. Das Auge *A* sieht mit
6 4 der Accomodation von 1 das Ferne deutlich, während
7 5 *B* nichts unterscheidet. Innerhalb einer gewissen Grenze
8 6 können vielleicht beide zusammen deutlich sehen, indem
9 7 das nebelige Bild des einen Auges dasjenige des andern Au-
10 8 ges nicht stört, und beide sich decken, aber bei dem Re-
9 fractionszustande für die Nähe bleibt das Auge sehkräftig,
10 was für die Ferne zurückblieb. *A* hat vielleicht bei der
11 Accomodation 10 die Grenze seiner Sehweite erreicht,
12 während *B* noch mit 11, 12 deutlich sieht. Die Un-
A B gleichheit des Refractionszustandes ist bei manchen Menschen die Ursache, dass sie zu schielen anfangen, indem sie das Auge von der brauchbarsten, mittlern Sehweite bevorzugen und das andere vernachlässigen, dessen Bild sie gar nicht stört. Schon wenn man bei gleicher Sehweite beider Augen, mit dem einen Auge durch eine Brille, mit dem andern ohne Brille denselben Gegenstand sieht, vereinigen sich die Achsen beider Augen nicht in dem Object und man sieht leicht doppelt, wie wenn man mit beiden Augen durch verschieden starke Brillengläser sieht. Noch mehr entfernen sich die Doppelbilder von Nichtvereinigung der Sehachsen im Object, wenn der Refractionszustand eines der beiden Augen durch Belladonnaextract verändert worden, wo dann bei einer gewissen Sehweite des einen Auges, das Bild des andern schwach und undeutlich nebenbei schwebt. Die Ursache dieser Entzweiung ergiebt sich aus dem am Schluss des vorigen Artikels Verhandelten. Der Refractionszustand wirkt auf die Stellung der Augenachsen ein. Wie das Bild eines schwachsichtigen Auges seine störende Einwirkung verliert, soll später erörtert werden, wenn wir die Thatsachen kennen lernen, welche beweisen, dass die Sehfelder beider Augen in einer Art von Wettstreit sich befinden, bei welchem die Nerventhätigkeit bald mehr dem einen, bald mehr dem andern sich zuwenden kann und die Herrschaft zwischen beiden oft wie der Wagebalken schwankt.

Wie die Brillengläser die Myopie und Presbyopie verbessern, ist nun mit einigen Bemerkungen zu erläutern. Das fernsichtige Auge wird durch eine convexe Brille, das nahsichtige durch eine concave Brille verbessert. Bei dem erstern vereinigen sich die Strahlen ferner Gegenstände auf der Retina, aber die Strahlen näherer und nächster Gegenstände, welche eine spätere Vereinigung erleiden, vereinigen sich erst hinter der Retina. Ein convexes Glas verbessert diesen Fehler, indem es die Strahlen naher Gegenstände näher, d. h. auf der Retina selbst zur Vereinigung bringt. Bei dem nahsichtigen Auge ist es umgekehrt. Die Strahlen naher Gegenstände vereinigen sich hier auf der Re-

tina und bringen ein deutliches Bild hervor. Die Strahlen ferner Gegenstände, deren Vereinigungsweite näher ist, als die der nahen, vereinigen sich hingegen in diesem Auge vor der Retina und bringen Zerstreuungskreise auf der Retina hervor. Das concave Brillenglas verbessert diesen Fehler, indem es die Lichtstrahlen mehr zerstreut, wodurch sie später und also auf der Retina zur Vereinigung kommen.



Beistehende Figur stellt die brechenden Medien eines nahsichtigen Auges dar. Die Lichtstrahlen des nächsten Gegenstandes *a* vereinigen sich auf der Retina *a'*, die Lichtstrahlen des fernen Gegenstandes *b* werden sich in *b'* vor der Retina vereinigen. Ein zerstreuendes Glas *B* bringt die Strahlen *Ab'*, *Ab'* in die Richtung von *Aa'* und *Aa'*, daher wird der ferne Gegenstand *b*, nur mittelst des Zerstreuungsglases in *a'* deutlich gesehen.



Ferner *AA* seien die brechenden Medien eines fernsichtigen Auges, dann wird der ferne Gegenstand *a* sein Licht in *a'*, d. h. auf der Netzhaut zur Vereinigung bringen. Der nahe Gegenstand *b* wird hingegen sein Licht hinter der Netzhaut in *b'* vereinigen. Das Sammelglas *B* bringt die Strahlen des nahen Gegenstandes *b* zu stärkerer Convergenz, so dass sie statt in *b'*, durch die Brille zu *a'*, d. h. auf der Netzhaut vereinigt werden.

Zur Bestimmung der mittlern Sehweite der Menschen dient der Optometer, welcher sich auf den Scheiner'schen Versuch gründet. Man sieht nämlich, bei welcher Entfernung vom Auge man durch zwei Oeffnungen eines Blattes, deren Entfernung kleiner ist als die Weite der Pupille, einen feinen Gegenstand mit einem Auge einfach sieht. Oder man sieht bei welcher Entfernung vom Auge, bei ungespannter Betrachtung eines Fadens durch zwei Kartenlöcher, das Doppelbild des Fadens sich kreuzt oder vereinigt. Young's Optometer. Diess ist die mittlere Sehweite. Vor dieser und hinter ihr wird ein Gegenstand durch die genannten Oeffnungen doppelt gesehen, d. h. sein Bild fällt vor oder hinter die Netzhaut. Doch ist die Anwendung immer sehr unvollkommen, da die Diffraction des Lichtes beim Durchgang an den Rändern der feinen Oeffnungen Beugungsphänomene bewirkt.

3. Veränderung der Sehweite durch Vergrösserungsgläser.

Die Wirkung der Gläser durch Veränderung der Sehweite auf Vergrösserung des Bildes kömmt nun zunächst in Betracht.

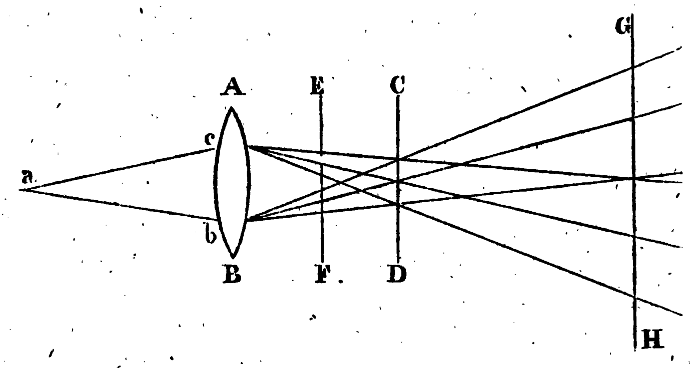
Die einfachste Art derselben sind die Loupen oder Mikroskope. Wird ein kleiner Gegenstand dem Auge bis dicht vor das Auge genähert, so erscheint er sehr gross, aber Alles ist undeutlich, weil die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen hinter der Netzhaut liegt. Die Wirkung einer Linse zwischen Object und Auge ist die Vereinigungsweite zu verkürzen. Fällt diese bei der gehörigen Stellung der Linse auf die Netzhaut, so erscheinen alle Details deutlich und das Object in der Grösse, wie es schon vorher erschien, als es ohne Loupe dicht vor das Auge gehalten wurde. Die Vergrösserung ist in diesem Falle nur scheinbar, sie ist blosse Folge der grossen Nähe des Objectes, die Wirkung der Linse ist blosse Deutlichkeit bei einer so sehr vergrössernden Annäherung. Beim Teleskop und Mikroskop fällt das Bild gar nicht mehr ins Auge, sondern vor dasselbe. An dieser Stelle kommen die Lichtstrahlen zur Vereinigung des Bildes, da es aber hier nicht aufgefangen wird, so gehen sie wieder divergirend fort, gerade so als ob hier das Object wäre, von welchem sie divergirend ausgegangen sind. Hierauf beruht sowohl die Vergrösserung als die Schärfe dieser Bilder. Denn der Sehwinkel eines vor dem Auge schwebenden Bildes ist grösser als der Sehwinkel des Objectes selbst. Nimmt das vor dem Auge schwebende Bild die Distanz der natürlichen scharfen Sehweite ein (8″), so erscheint das Object bei der Vergrösserung zugleich so scharf, als überhaupt Gegenstände der natürlichen schärfsten Sehweite.

Die Teleskope sind zur Vergrösserung und zum deutlichen Sehen der fernsten Gegenstände, die Mikroskope zur Vergrösserung und zum deutlichen Sehen der Gegenstände in der Nähe eingerichtet. Die Zahl der dazu angewandten Gläser ist sehr verschieden. Befindet sich hinter dem ersten Glase ein zweites, so verändert dieses entweder das Bild und seinen Ort, oder wenn das Bild des ersten Glases vor das zweite fällt, so vertritt dies Bild die Stelle eines Objectes für das zweite Glas. Das Bild des zweiten kann durch ein drittes Glas wieder verändert werden oder dem dritten Glas als Object dienen. Das vom Object selbst das Licht empfangende Glas heisst Objectivglas, das dem Auge zugewandte Glas heisst Ocular. Beim Mikroskop wird das durch eine oder mehrere Linsen hervorgebrachte physische Bild durch das Ocular, wie durch eine Loupe ein Gegenstand angesehen. Die Helligkeit des Bildes hängt von der Menge des Lichtes ab, welches das Objectiv vom Objecte aufnimmt, oder beim Mikroskop, welches dem Objecte durch künstliche Beleuchtung zugeworfen wird. Ist diese Lichtmenge, worin das Bild des Objectes im Teleskop und Mikroskop erscheint, grösser oder kleiner, als das Object ohne diese Instrumente in die Pupille des Auges wirft, so ist auch die Helligkeit des Bildes grösser oder kleiner, als beim Sehen des Objectes ohne das Instrument. Beim Sehen durch ein Teleskop ist das Bild heller als das Object allein; weil das Objectivglas mehr Licht vom Object aufnimmt und zum Bilde verwendet, als die Pupille des Auges beim einfachen Sehen vom Object aufnimmt.

V. Von der Chromasie und Achromasie des Auges.

(J. Mueller *Physiol. des Gesichtssinnes* 195. 414. Tourtual. *die Chromasie des Auges* Meckel's *Archiv* 1830. 129.)

a. *Chromatische Linsen.* Wenn gleich die durch eine Linse gebrochenen Strahlen eines leuchtenden Gegensatzes bei Vermeidung der Aberration von der Sphäricität ein scharfes Bild hervorbringen, sobald sie in der Vereinigungsweite des Bildes aufgefangen werden, so gilt diess doch mit vollkommner Schärfe nur, wenn die Lichtstrahlen von gleichartigem farbigem Lichte sind. Denn eine absolute Vereinigung des ungleichartigen oder gemischten weissen Lichtes in einem Puncte durch Brechung ist selbst bei der Vermeidung der Aberration von der Sphäricität ohne weitere Hülfsmittel unmöglich, weil die im weissen Lichte enthaltenen farbigen Strahlen eine ungleiche Brechbarkeit besitzen, also auch eine verschiedene Vereinigungsweite haben.



Ist *a* der leuchtende Punct, *AB* die Linse, so werden die im Lichtkegel *abc* enthaltenen farbigen Strahlen ungleich gebrochen, so dass z. B. die violetten Strahlen am meisten brechbar zuerst, die gelben später, die rothen zuletzt zur Vereinigung kommen. Statt eines ungefärbten Punctes wird auch bei der grössten Concentration des Lichtes in *CD* ein Zerstreuungskreis erscheinen, dessen Mitte wegen der Deckung des farbigen Lichtes weiss, dessen Ränder durch die frei hervortretenden äussersten Grenzen der violetten und rothen Strahlen purpurroth erscheinen. Die Farbenerscheinung wird zunehmen, wenn das Bild nicht in der mittlern Vereinigungsweite *CD*, sondern vor oder hinter derselben in *EF* oder *GH* aufgefangen wird. Wird zum Beispiel das Bild in *EF* aufgefangen, so bilden die jetzt äussersten rothen Strahlen, welche von keinen andern farbigen Strahlen gedeckt werden, einen rothen Farbenkreis, die äussersten gelben, welche nur von roth gedeckt werden, einen gelbrothen Kreis, der in dem rothen enthalten ist, um die farblose Mitte, wo sich die Kegel der verschieden farbigen Strahlen decken. Wird das Bild in *GH* aufgefangen, so bilden die äussersten, ungedeckten, violetten Strahlen den äussersten Farbenkreis, auf welchen nach innen die

an Brechbarkeit zunächst folgenden blauen Strahlen folgen, während die Mitte weiss ist.

Die Farbenerscheinung ist, wenn die durch ein Collectivglas durchgehenden Strahlen in der Vereinigungsweite des Bildes aufgefangen werden sehr gering und nur kaum bemerkbar sind die Ränder vom Bilde eines weissen Feldes auf dunkelm Grunde, purpurroth gefärbt, je weiter aber die auffangende Tafel sich von der Vereinigungsweite entfernt, um so stärker wird ausser den zunehmenden Zerstreuungskreisen des weissen Bildes sein farbiger Saum. Kunzek *die Lehre vom Lichte p.* 157. und Tourtual a. a. O.

b. *Achromatische Linsen.* Die Farbenzerstreuung eines Prisma wird durch ein zweites Prisma von gleichem brechendem Winkel und gleicher Farbenzerstreuungskraft aufgehoben. Beide Prismen zusammen bilden ein brechendes Medium mit parallelen Ebenen, aus welchem die Lichtstrahlen wie durch eine ebene Glastafel unter denselben Winkeln austreten, wie sie eingetreten sind. Dollond hat indess entdeckt, dass das Farbenzerstreuungsvermögen dem Brechungsvermögen der Medien nicht proportional ist, und dass es Medien giebt, welche stark das Licht brechen aber wenig zerstreuen und umgekehrt. Flintglas bricht das Licht mehr als Crownglas, zerstreut aber in noch höherm Grade die farbigen Strahlen. Diess führte zur Construction achromatischer Prismen durch Verbindung von Prismen ungleicher Brech- und Zerstreuungskraft. Ein Prisma von Crownglas verbunden mit einem Prisma aus Flintglas von gleichem Brechungswinkel, lenkt die parallel eintretenden Strahlen stärker ab, lässt sie aber nicht farblos austreten wie zwei mit einander verbundene Crownglasprismen von gleichem Winkel, vielmehr werden die Strahlen durch den Ueberschuss des Farbenzerstreuungsvermögens des Flintglases farbig zerstreut. Wird nun aber der Brechungswinkel des Prisma von Flintglas so weit vermindert, dass beide Prismen gleich stark das Licht zerstreuen, so hebt das eine Glas die Farbenzerstreuung des andern auf, während doch die Ablenkung oder einfache Brechung des Lichtes wegen der verschiedenen Winkel beider Prismen nicht gegenseitig aufgehoben wird, sondern bleibt. Ein achromatisches Prisma besteht aus einem Crownglasprisma von einem Brechungswinkel von 30°, und einem Flintglasprisma von 19° Brechungswinkel Hieraus begreift sich die Construction von achromatischen Doppellinsen, welche ihre Farbenzerstreuung gegenseitig aufheben. Die vollkommenste achromatische Doppellinse hebt übrigens nicht alle Farbenzerstreuung auf, wenn das Bild nicht in der Vereinigungsweite aufgefangen wird, und die Farbensäume erscheinen an dem besten Fernrohr, wenn das Ocular über die Grenzen des deutlichen Sehens verrückt wird. Kunzek a. a. O. 172 — 177.

c. *Achromasie des Auges.* Das Auge des Menschen ist achromatisch, so lange das Bild in der Vereinigungsweite desselben aufgefangen wird, oder so lange sich das Auge nach den Entfernungen des Gegenstandes einrichtet. Worin die Achromasie ihren Grund hat, lässt sich mit Bestimmtheit nicht angeben, wohl aber die Möglichkeit der Achromasie des Auges aus dem optischen

Bau desselben einsehen. Seine brechenden Mittel sind von ungleicher Brechkraft, von ungleichen Convexitäten und ungleicher chemischer Constitution. Das eine ist die Linse mit ungleichen Convexitäten, das zweite die Cornea mit dem Humor aqueus. Letztere bilden zusammen eine convex-concave Linse, deren Brechkraft von der Linse verschieden ist. Vielleicht ist die Farbenzerstreuungskraft beider brechender Mittel ihrer Brechkraft nicht proportional und hierdurch die Achromasie bedingt. Die achromatischen und aplanatischen Doppelobjective, welche der jüngere Herschel angegeben, haben einige entfernte Aehnlichkeit mit den brechenden Medien des Auges in der Form und Zusammensetzung. Sie bestehen aus einer vordern biconvexen Crownglaslinse von ungleichen Halbmessern und zwar mit nach aussen gekehrter convexern Fläche und aus einer hintern convex-concaven Flintglaslinse, deren concave Seite der Crownglaslinse zugewendet ist.

d. *Chromasie des Auges.* Nur fehlerhafter Weisse wird dem menschlichen Auge eine vollkommne Achromasie zugeschrieben. Die Chromasie erscheint mehr oder weniger deutlich, sobald sich das Bild nicht in der Vereinigungsweite des Bildes befindet. Die dioptrischen Farbensäume, welche durch die brechenden Medien unseres Auges entstehen und in einem gewissen Grade willkührlich hervorgebracht werden können, scheint der Pater Scheiner zuerst beobachtet zu haben. Ausführlichere Beobachtungen darüber enthalten Comparetti *observationes dioptricae et anatomicae comparatae de coloribus apparentibus visu et oculo. Patav.* 1798. 4. ein Aufsatz über physiologische Farbenerscheinungen in Schweigger's *Journal d. Chem. u. Phys. B.* 16., meine Schrift *zur Physiologie des Gesichtssinnes Leipz.* 1826. *p.* 194 — 204. und Tourtual's treffliche Abhandlung in Meckel's *Archiv* 1830. Um die dioptrischen Farbensäume an sich selbst bei einem ganz gesunden Zustande des Auges zu beobachten, muss man weisse Felder auf schwarzem Grunde, oder schwarze Felder auf weissem Grunde so ansehen, dass man einen nähern oder fernern Gegenstand fixirt, wobei das Feld undeutlich mit Zerstreuungskreisen gesehen wird und aus später zu erwähnenden Gründen sich in zwei Doppelbilder entwickelt, welche sich um so weiter von einander entfernen, je mehr die Augenachsen von der Fixation des Feldes abweichen. Je undeutlicher die Felder werden, um so stärker werden auch die Farbensäume. Im Anfange des Experimentes bemerkt man sie nicht, durch Uebung und Aufmerksamkeit gelangt man dahin, den äusserst schmalen farbigen Saum um die Felder zu erkennen. Am leichtesten lässt sich das undeutliche Sehen eines Gegenstandes durch Fixation der Augenachsen auf einen viel nähern oder viel fernern körperlichen oder idealen Punct im Raum hervorbringen, daher wird man auch die Farbensäume am leichtesten auf diese Weise gewahr. Der Geübte kann jedoch auch, wenn er nur mit einem Auge sieht und das andere geschlossen ist, das undeutliche Sehen willkührlich hervorbringen, indem er den Refractionszustand für einen fernern oder nähern Punct im Raum eintreten lässt. Auf diese Weise bringt man die Farben-

säume auch mit einem Auge und ohne Doppelbilder des Gegenstandes hervor. Das Folgende enthält die Resultate meiner eigenen Beobachtungen.

1. Betrachtet man mit einem Auge ein weisses Feld auf schwarzem Grunde, so dass der Refractionszustand einem fernern Puncte als dem Felde entspricht, so wird das undeutliche weisse Feld auf schwarzem Grunde mit einem leichten und feinen Farbensaume umgürtet erscheinen, dessen Farben vom Weissen nach dem Schwarzen violet, blau, gelb, roth sind. Meistens ist nur das Blaue und das Gelbe einigermassen deutlich.

2. Betrachtet man ein weisses Feld auf schwarzem Grunde, so dass der Refractionszustand einem nähern Gegenstande als dem angeschauten entspricht, so ist der Farbensaum des undeutlichen Bildes in eben der Folge roth, gelb, blau, violet aber umgekehrt, nämlich violet, blau ist dem Schwarzem, gelb, roth dem Weissen näher.

Sieht man mit beiden Augen undeutlich und also Doppelbilder, so ist, wenn die Augenachsen sich hinter dem Objecte der Doppelerscheinung kreuzen, die Folge der Farben wie im ersten Falle. Kreuzen sich die Augenachsen vor dem Objecte der Doppelerscheinung, so folgen sich die Farben wie in dem zweiten Falle.

Sehr lebhaft erscheinen auch die Farbensäume an den Rahmen der Fenster, wenn man durch diese blickend fernere Gegenstände fixirt, oder mit auf das Fenster gerichteten Augen einen nähern Gegenstand, den vorgehaltenen Finger, deutlich ansieht.

Die Farbensäume erleiden eine Verunreinigung durch das Vorspringen der subjectiven Nachbilder am Rande des objectiven Bildes bei einer leisen seitlichen Bewegung des Auges. Das subjective Nachbild eines schwarzen Feldes auf weissem Grunde ist weiss, eines weissen Feldes grau, eines farbigen Feldes die complementär entgegengesetzte Farbe. Bei längerem fixirendem Betrachten eines Feldes deckt das physiologische Nachbild das objective Bild, wird aber das Auge ganz wenig zur Seite bewegt, so kömmt der Rand des physiologischen Nachbildes am Rande des objectiven Bildes zum Vorschein. Diese Säume, welche bloss auf der Seite erscheinen, nach welcher das Auge schwankt, muss man wohl von den dioptrischen Farbensäumen unterscheiden, welche objectiv sind und ihren Grund in den brechenden Medien des Auges haben. Comparetti hat beide gemischte Phänomene beschrieben. Das Sehen der Farbensäume hat wie man sieht ganz objective Ursachen im Auge, und an die Veränderungen in der Nervenhaut, wovon in pathologischen Werken hier und da die Rede ist, ist hier nicht zu denken. Tritt das Phänomen pathologisch ein, so ist es nicht Folge einer Veränderung im Acte des Sehens, sondern einer Veränderung im Vermögen den Refractionszustand des Auges für verschiedene Fernen abzuändern. Manche klagen über das Sehen der Farbensäume bei sonst ungestörter Sehkraft, ohne alle Anlage des Auges zu krankhaften Veränderungen der Netzhaut, ohne Anlage zur Amblyopie und zum schwarzen Staar. Hieher gehören auch die rothen Säume schwar-

zer Schrift bei einer durch Affect, geistige Anstrengung, Schläfrigkeit eingetretenen Lähmung der inneren Veränderungen des Refractionszustandes, die blutigen Würfel u. s. w. Sehr stark werden die dioptrischen Farbensäume, wenn man durch Belladonnaextract die inneren Veränderungen für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen aufhebt. Siehe das Nähere in meiner angeführten Schrift p. 203.

Die farbigen Lichthöfe müssen von den dioptrischen Farbensäumen unterschieden werden.

III. Capitel. Von den Wirkungen der Nervenhaut, des Sehnervens und des Sensoriums beim Sehen.

Alle im vorigen Capitel untersuchten Erscheinungen ergeben sich aus dem optischen Baue des Auges, d. h. aus der Construction der vor der Nervenhaut liegenden, durchsichtigen Media. Eine grosse Anzahl von Erscheinungen findet hingegen ihre Erklärung nicht in den optischen Mitteln des Auges, sondern in den Lebenseigenschaften der Nervenhaut, und in ihrer Wechselwirkung mit dem Sensorium. Dahin gehört nicht bloss der Act der Empfindung selbst und die Wahrnehmung der stattgefundenen Veränderung der Nervenhaut als Licht und Farben, sondern auch die Verwandlung der Netzhautbilder in Anschauungen von einem Sehraum, von Nähe und Ferne, Körperlichkeit und Grösse der Gegenstände. Ferner gehört dahin die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Theilen des sensitiven Apparates und viele durch das äussere Licht entweder gar nicht oder nur mittelbar in der Nervenhaut hervorgerufenen Erscheinungen. Die hieher gehörigen Phaenomene werden in den folgenden Artikeln abgehandelt. 1. Von der Thätigkeit der Nervenhaut im Allgemeinen und von der Mitwirkung des Sensoriums beim Sehen. 2. Von der Wechselwirkung verschiedener Theile der Nervenhaut unter sich. 3. Von den Nachbildern. 4. Von der gleichzeitigen Wirkung beider Augen. 5. Von den subjectiven Gesichtserscheinungen.

1. Von der Thätigkeit der Nervenhaut im Allgemeinen und von der Mitwirkung des Sensoriums beim Sehen.

Action der Netzhaut und des Sensoriums.

Dass die Nervenhaut nicht bloss Wirkungen von aussen leitet, sondern selbstständig dagegen reagirt, wurde in der Einleitung zur Physiologie der Sinne ausführlich bewiesen. Licht und Farbe sind Actionen der Nervenhaut und ihrer Fortsetzungen zum Gehirn. Von der Art der äussern Einwirkung hängt es ab, welche Farben und lichte Bilder empfunden werden. Die Thätigkeit der Nervenhaut ist daher so wenig unbekannt, dass ihre bekannte Eigenschaft im Zustande der Reizung Farbe und Licht zu sehen, vielmehr das Grundphänomen ist, auf welchem alle Untersuchungen

über das Sehen basiren. Schwingungen einer durch die ganze Welt verbreiteten Flüssigkeit, des Aethers, von bestimmter Geschwindigkeit der Wellen bringen in der Nervenhaut die Empfindung einer bestimmten Farbe, Schwingungen einer andern Geschwindigkeit die Empfindung einer andern Farbe als Reaction der Nervenhaut hervor. Die Reizung der Nervenhaut in demselben Puncte von den verschieden schnellen Wellen zugleich bewirkt die Empfindung des Lichten. Dieselben Empfindungen entstehen aber auch ohne Mitwirkung der Schwingungen des Aethers von Reizung der Nervenhaut durch Electricität und Druck.

Wenn die Veränderungen der Nervenhaut es sind, welche beim Sehen empfunden werden, so kann man auch sagen, dass die Nervenhaut sich selbst beim Acte des Sehens in irgend einem Zustande empfinde, oder dass das Sensorium die Nervenhaut in irgend einem Zustande wahrnehme. Die Ruhe der Nervenhaut ist die Ursache der Erscheinung des Dunkeln vor den Augen, die thätige Nervenhaut ist die Ursache des lichten Sehfeldes in der Empfindung. Unter gewissen Umständen sieht man die Nervenhaut an sich selbst und einzelne Theile derselben, ohne dass äussere Gegenstände Bilder auf diesen Theilen verursachen. Dahin gehört ausser den Figuren von Druck und von der Electricität, ein von Purkinje zuerst beobachtetes Phänomen, welches hier zuerst erwähnt zu werden verdient. Wenn man in einem sonst dunkeln Raum mit einem Kerzenlicht 6 Zoll vor den Augen sich hin und her fahren lässt, oder wenn Bewegungen im Kreise mit dem Lichte vor den Augen ausgeführt werden, so sieht man nach einiger Zeit eine dunkle, baumartige, ästige Figur, welche ihre Aeste über das ganze Sehfeld ausbreitet und welche nichts Anderes ist, als die Ausbreitung der Vasa centralia retinae oder diejenigen Theile der Retina, die von diesen Gefässen bedeckt werden. Eigentlich sind zwei baumartige Figuren, deren Stämme sich nicht decken und vielmehr im linken und rechten Theile des Sehfeldes entspringen und sogleich auseinander fahren. Jedem Auge gehört ein Stamm an, die Aeste der beiden Figuren streben im gemeinschaftlichen Sehfeld durcheinander. Diese Figuren entstehen auf folgende Weise. Durch das Hin und Herfahren des Kerzenlichtes, wird auf dem ganzen Umfang der Retina Licht verbreitet, und alle Stellen der Retina, welche nicht von den Vasa centralia unmittelbar bedeckt sind, werden matt erhellt, die von den Gefässen bedeckten Stellen der Retina hingegen können nicht erhellt werden und erscheinen daher dunkel als schwärzliche Bäume. Bei den meisten Menschen gelingt das Experiment leicht, bei einigen schwer oder gar nicht. Die Aderfiguren scheinen vor den Augen zu liegen und im Sehfelde zu schweben. Durch diesen Versuch erhält man eine lebhafte Anschauung von der Wirklichkeit der Thatsache, dass man beim Sehen die Zustände der Nervenhaut und nichts Anderes als diese empfindet, und dass die Nervenhaut gleichsam das Sehfeld selbst ist, dunkel im Zustande der Ruhe, hell im Zustande der Erregung.

Eines der schwierigsten Probleme der Physiologie ist nun aber die Wechselwirkung der Nervenhaut und des Sensoriums

beim Sehen. Diesen Theil der Physiologie der Sinne kann man geradezu metaphysisch nennen, da es uns zur Zeit an genügenden empirischen Hülfmitteln zur Aufklärung dieser Wechselwirkung gebricht. Wo wird der Zustand der Nervenhaut empfunden, in der Nervenhaut selbst oder im Gehirn?

Wenn die Zustände der Theilchen der Nervenhaut erst im Gehirn zur Empfindung kommen, so müssen sie im Sehnerven bis zum Gehirn in derselben Ordnung geleitet werden, welche die Theilchen der Nervenhaut nebeneinander haben. Jedem kleinsten Theilchen der Nervenhaut muss eine Nervenfaser des Sehnerven entsprechen. Damit stimmt die Erfahrung keineswegs überein. Vergleicht man die Dicke des Sehnerven mit der Ausbreitung der Nervenhaut, so scheint wenig Hoffnung zu einer solchen Uebereinstimmung. Denn die Zahl der Nervenfasern im Sehnerven scheint viel kleiner, als die Zahl der Papillen der Nervenhaut. Eine Uebereinstimmung würde daher nur dann statt finden können, wenn die sogenannten Primitivfasern des Sehnerven noch ausserordentlich viel feinere Elemente in grosser Anzahl enthielten. Indessen ist zu bedenken, dass nur im mittlern Theil der Netzhaut die Empfindung scharf ist, und nimmt man, dass in der Mitte der Netzhaut die Enden der Fasern dicht nebeneinander liegen, nach aussen hin aber durch immer grössere Zwischenräume getrennt sind, so fällt ein Theil der Schwierigkeiten weg. Die Empfindung ist in der Mitte der Netzhaut so scharf und auf den Seiten derselben so ganz unbestimmt, als wenn in der Mitte der Netzhaut einzelnen kleinen Theilchen des Bildes die Enden einzelner Fasern, an den Seiten vielen kleinen Theilchen des Bildes nur eine Faser entsprechen, und als wenn hier eine Faser in einiger Länge den Eindrücken ausgesetzt wäre, während sie in der Mitte der Netzhaut nur durch ihr punctförmiges Ende empfindet. Von besonderer Wichtigkeit wäre hier zu wissen, wie sich die von Treviranus beobachteten Nervenpapillen der Retina zur Faserschicht der Retina verhalten, ob in der That wie er angiebt, jede Nervenfaser in eine Nervenpapille umbiegt, oder ob eine Nervenfaser ganzen Reihen von Papillen entspricht. Wie würde aber eine Faser die Veränderungen ganzer Reihen von Raumtheilchen in ihrer Länge bis zum Sensorium leiten können, wenn im Sensorium erst die Empfindung der Orte entstehen soll. Findet die Präsentation der Empfindungen nur im Gehirn durch die Enden der Nervenfasern statt, so kann eine Faser auch alle Affectionen in aliquoten Theilen ihrer Länge nur in einem Puncte präsentiren. Fände hingegen die Empfindung verschiedener Orte an aliquoten Theilen der Länge einer Faser statt, so müsste man sich die Seele als in jedem Theilchen der Länge einer Faser wirkend vorstellen, wogegen für die Rückenmarksnerven die Erfahrungen über die Empfindungen der Amputirten sprechen. Diese Schwierigkeit liesse sich durch die Supposition heben, dass die höheren Sinnesnerven verschieden von andern Nerven näher an dem Wirken der Seele participiren, so dass die Seele bis in die Nervenenden der Retina fortwirke, indem die Sinnesnerven nur Fortsätze des Sensoriums sind. Es ist vollends

unmöglich bei dem jetzigen Zustande der Wissenschaft diess Räthsel aufzulösen.

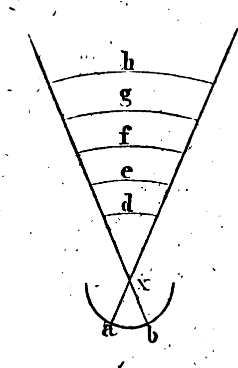
Wie sich das auch verhalten mag, so ist es jedenfalls gewiss, dass auch nach Verlust der Retina und des äusseren Theiles des Sehnerven, die innern oder Hirntheile des Sehsinnes nicht bloss die Empfindungen von Licht, sondern selbst dieselben Anschauungen von einem Sehfelde, in welchem Bilder gesehen werden, hervorbringen können. Hieher gehören die merkwürdigen von Lincke beobachteten Erscheinungen. Ein Mann, dem ein fungöses Auge exstirpirt worden war, sah einen Tag nach der Operation, als er das gesunde Auge schloss, verschiedene Bilder vor seiner leeren Augenhöhle umherschweifen, als Lichter, Feuerkreise, viele tanzende Menschen. Lincke *de fungo medullari. Lips.* 1834. Aehnliche Erscheinungen sind schon öfter an Totalblinden beobachtet. Siehe meine Schrift über *die phantastischen Gesichtserscheinungen. Coblenz* 1826. Hieraus scheint hervorzugehen, dass die Affectionen der Nervenfasern des Sehnerven erst im Gehirn selbst zur Construction eines Sehraums verwandt werden, und eine Consequenz davon wäre wieder, dass die ganze Mosaik der Retina durch eine Anzahl übereinstimmender Nervenfasern im Sensorium repräsentirt werde, was durch die Erfahrung nicht nachweisbar ist.

Der Process der Wechselwirkung zwischen den Endtheilen des Sehapparates und den Centraltheilen desselben ist daher noch sehr unklar und wir können nur bei dem Factum stehen bleiben, dass alle Ordnung des Gesehenen im Sehfelde von der Ordnung der afficirten Netzhauttheilchen abhängt.

Grösse des Sehfeldes in der Vorstellung.

Die Grösse des Sehfeldes hängt ab von der Grösse der Netzhaut, denn niemals können mehr Bilder zu gleicher Zeit gesehen werden, als zusammen auf der ganzen Netzhaut Raum haben, in diesem Sinne ist die vom Sensorium empfundene Nervenhaut das Sehfeld selbst. Aber für die Vorstellung des Sehenden hat das Sehfeld gar keine bestimmte Grösse und die Vorstellung, die wir vom Sehfeld oder Sehraum vor uns haben, ist höchst veränderlich, bald sehr klein, bald ausserordentlich gross. Die Vorstellung vom Gesehenen projicirt nämlich das Gesehene aus einem später zu erklärenden Grunde nach aussen. Daher ist das Sehfeld in der Vorstellung sehr klein, wenn die Vorstellung durch nahe vor dem Auge liegende Hindernisse beschränkt wird, hingegen sehr gross in der Vorstellung, wenn das Projiciren des Gesehenen in der Vorstellung nach aussen keine Hindernisse findet. Sehr klein ist in der Vorstellung das Sehfeld, wenn wir in einen engen vor das Auge gehaltenen hohlen Körper sehen, gross, wenn wir durch eine enge Oeffnung in die Landschaft hinaussehen, noch grösser, wenn wir durch ein Fenster sehen, am grössten, wenn wir frei hinaussehen. In allen diesen Fällen ist die Vorstellung von der Grösse des Sehfeldes höchst verschieden und doch ist seine ab-

solute Grösse immer gleich, nämlich von der Ausbreitung der Nervenhaut abhängig. Denn wie gesagt, niemals kann mehr zugleich gesehen werden, als Bilder zusammen auf der Nervenhaut Platz haben. Dennoch obgleich beim Sehen durch eine Oeffnung in die Landschaft das ganze Bild der Landschaft nicht grösser als die Oeffnung ist, und denselben Raum auf der Retina einnimmt, als der Umfang der Oeffnung, so ist doch die Vorstellung von einem und demselben Sehfelde so höcht verschieden. Hieraus folgt also, dass das Vorstellen beim Sehen beständig mitwirkt, so dass zuletzt schwer zu sagen ist, was dem blossen Empfinden und dem Vorstellen angehört. Könnten wir im erwachsenen Zustande vom Vorstellen beim Sehen abstrahiren, dann nur würde das blosse Empfinden beim Sehen übrig bleiben, wie es beim neugebornen Kinde stattfinden mag. Für das Kind, welches noch keine Vorstellung von Nähe und Ferne des Gesehenen hat, würde das Sehfeld gleich gross erscheinen müssen, wenn es in eine am Ende geschlossene Röhre hineinsieht, oder wenn es durch dieselbe aber offene Röhre die ganze Landschaft sieht. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich auch, dass das einfache Empfinden des Gesehenen allerdings etwas Ursprüngliches und von den Vorstellungen Unabhängiges seyn muss.



Alles was unter demselben Gesichtswinkel *axb* erscheint, hat auch nur dasselbe gleich grosse Netzhautbild *ab*, die Gegenstände *d*, *e*, *f*, *g*, *h* u. s. w. welche sehr verschieden an Grösse in verchiedener Entfernung liegen, haben denselben Gesichtswinkel und dasselbe gleichgrosse Netzhautbild *ab*, dennoch ist ihr Bild für die Vorstellung sehr ungleich, sobald Begriffe von Ferne und Nähe eingetreten sind. Denn das Vorstellen erweitert aus dem Bilde *ab* den Sehraum zu *d*, zu *e*, zu *f*, zu *g*, zu *h*, um soviel uud stellt das Netzhautbild *ab* so gross der Seele vor, als es sonst schon in der Nähe, oder wie es am häufigsten gesehen wurde. Eine auf der Netzhaut zunächst abgebildete Landschaft *ab* von dem Gesichtswinkel *axb* wird daher vielleicht zwei Meilen gross vorgestellt, wenn wir wissen, dass sie so gross ist, oder wenn wir aus der Menge der zugleich gesehenen bekannten Gegenstände schliessen, dass es so sei. Und so wie einige Bilder von gleichem Gesichtswinkel verschieden gross im Sehfeld vorgestellt werden, so wird auch das ganze sich immer an absoluter Grösse gleichbleibende Sehfeld der afficirten Netzhauttheilchen äusserst verschieden an Grösse vorgestellt. Aus diesem Grunde wird das in der Camera obscura betrachtete Bild für eine lebendige Landschaft, für den wahren Sehraum selbst gehalten, obgleich es nur ein kleines Bild auf einer Tafel ist. Durch denselben Process des Projicirens in der Vorstellung nach aussen, entsteht auch die Vorstellung von Tiefe im Sehraume, welche Vorstellung am meisten dadurch befestigt wird, dass, indem wir fortgehen, sich unserer Retina andere Bilder

darbieten, daher wir gleichsam zwischen den Bildern durchzugehen scheinen, was für die Vorstellung so viel wird, als ein Hindurchgehen zwischen den gesehenen Gegenständen im Sehraume.

So wird es also klar, dass das vorgestellte Sehfeld höchst wandelbar ist, während das Sehfeld der einfachen Empfindung durchaus von dem Umfang der Nervenhaut oder der inneren centralen Theile des Sehapparates im Gehirn abhängig ist. Dem letztern entspricht am meisten ein solches Empfinden in der Nervenhaut, wobei wir uns gar keine Objecte vorstellen, z. B. die Empfindung des dunkeln Sehfeldes bei geschlossenen Augen, oder die Empfindung des lichten Sehfeldes bei geschlossenen Augen, wenn das Licht durch unsere Augenlieder scheint. Hier scheint auch das Sehfeld unmittelbar vor oder im Auge zu seyn. Sobald aber mit dem Gesehenen sich irgend eine Vorstellung von schon gesehenen Objecten verbinden lässt, so tritt auch die Projection nach aussen in der Vorstellung ein, und die Grösse in welcher man sich das Gesehene vorstellt, hängt selbst von individuellen Erfahrungen ab. Daher ist die Angabe der Einzelnen so sehr verschieden, wie gross sie die, in dem vorerwähnten Versuch von Purkinje sichtbaren Adern der Nervenhaut sehen und wie weit vor dem Auge diese Figuren zu schweben scheinen.

Der Gesichtssinn verhält sich in dieser Weise ganz anders zu den äussern Gegenständen als der Gefühlssinn. Für den letztern sind die Objecte unmittelbar gegenwärtig und das Mass für die Grösse der äussern Objecte ist unsere Leiblichkeit, welche die Objecte berührt. Eine von der Hand berührte Tafel erscheint an der berührten Stelle so gross als Theile der Hand davon afficirt werden, denn ein Theil unseres Leibes den wir empfinden, ist hier das Mass. Die berührende Stelle der Hand macht nämlich einen Theil aus von der empfindlichen ganzen Körperoberfläche, und die berührte Stelle der Tafel erscheint so gross, als die berührende Stelle der Hand im Verhältniss zu unserm ganzen Körper erscheint. Alle Unterscheidung unserer Körpertheile hängt aber wieder ab, von der Möglichkeit die von verschiedenen Körpertheilen kommenden Nervenfasern im Sensorium zu unterscheiden. Beim Gesichtssinn hingegen sind die Bilder der Gegenstände nur Bruchtheile der Gegenstände selbst, realisirt auf der sich gleichbleibenden Netzhaut. Aber der Process des Vorstellens, welcher die Empfindungen des Sehens zergliedert, erhebt nach aussen wirkend die Bilder der Gegenstände, mitsammt dem ganzen Sehfelde der Netzhaut in der Vorstellung zu ganz varianten Grössen, wobei nur das relative Verhältniss der Bilder zum ganzen Sehfeld oder der afficirten Netzhauttheilchen zur ganzen Netzhaut ungestört bleibt.

Volkmann (*Beitr. zur Physiol. d. Gesichtssinnes. Leipz.* 1836.) macht die Bemerkung, dass die Netzhaut in keinem Falle ihre räumliche Ausdehnung empfinde, und dass selbst der Gefühlssinn nicht die eigene Leiblichkeit zur Anschauung bringe. Er beruft sich auf die Beobachtungen von E. H. Weber, dass die Distanz zweier Puncte an verschiedenen Stellen der Haut sehr verschieden empfunden werde. Siehe oben *Band I. 3. Buch. 3. Abschnitt.* Volkmann stellt

daher den Satz auf, die Haut schätzt die Grösse der Objecte so, dass sie die Grösse der letzten ihr wahrnehmbaren Distanz als Masseinheit annimmt. Nennen wir diese Masseinheit x, so sei die Grösse eines Zolles für die Fingerspitze 12 x, für eine Stelle in der mittlern Gegend des Arms 1 x. Denn jede Stelle der Haut gebe einem betasteten Objecte so vielmal die Grösse x als sie Stellen enthalte, die x als Gesondertes zu unterscheiden im Stande sind. Nach dieser Ansicht müsste, wenn ich mit der Fingerspitze den Mittelarm berühre, dieselbe Stelle von der Fingerspitze 12 Mal so gross, als von der Haut des Arms empfunden werden. Volkmann wendet seine Ansicht auch auf die Netzhaut an, auch sie nehme bei Schätzung der Grösse die letzte sichtbare Distanz als Masseinheit ein. Die von Weber beobachteten Erscheinungen lassen indess noch eine andere Erklärung, nämlich aus der Vermischung oder Irradiation der Empfindungen, bei welcher sie gleichsam Zerstreuungskreise bilden, zu.

Nach aussen Wirken des Gesichtssinnes.

Es kömmt nun zunächst zur Frage, wie das nach aussen Wirken des Sehens zuerst entsteht. Mehrere Physiologen wie Tourtual, Volkmann, Bartels, legen dem Gesichtssinne selbst das Wirken nach aussen, oder Setzen des Gesehenen nach aussen zu. Aber was ist zuerst aussen? Da der zuerst Sehende das Bild seines Körpers noch nicht von andern Bildern zu unterscheiden vermag, so kann das nach aussen Setzen des Gesehenen nichts Anderes, als ein Unterscheiden des Gesehenen vom Subject, ein Unterscheiden des Empfundenen vom empfindenden Ich seyn. Das nach aussen Setzen des Gesehenen ausser dem eigenen Körper ist Sache des Urtheils, wie schon in der Einleitung zur Physiologie der Sinne erörtert wurde. Man sagt, der Neugeborne setze die Gesichtsobjecte gleich anfangs ausser seinem Körper und ausser seinem Auge; aber der Neugeborne kennt sein eigenes Auge, wie seinen eigenen Körper in der Form von Gesichtsempfindungen nicht; und muss erst durch die Erfahrung lernen, welches von den Bildern, die er sieht, sein eigener Körper ist. Man kann also nur sagen, dass der Neugeborne das Empfundene ausser dem empfindenden Ich setzt, und nur in diesem Sinne setzt er das Empfundene nach aussen. Bei den Thieren ist diese Reaction des Sensoriums nach aussen viel sicherer, durch Mitwirkung des Instinctes, denn das Thier geht bald auf die Zitze der Mutter zu, und in seinem Sensorium muss ein angeborner Antrieb seyn, das gesehene Bild, das dem sehenden Ich äusserlich oder Object ist, durch Bewegungen zu erreichen. Weiss der Neugeborne das Bild des eigenen Körpers anfangs nicht vom Bild der Aussenwelt zu unterscheiden, so bemerkt er bald, dass gewisse Bildchen im Sehfeld fast beständig wiederkehren, und dass sich diese Bildchen bewegen, wenn sich der Körper willkührlich bewegt. Diese sind Bilder des eigenen Körpers, alle übrigen Bilder verändern sich theils ganz unabhängig von dem eigenen Körper, theils entsprechen ihre Veränderungen nicht den Bewegungen des Individuums. Das sind die Bilder

der Aussenwelt, welche nun als ausser dem Körper des Individuums räumlich existirend gesetzt und fort und fort in dem nun entstandenen Sehraum der Vorstellung sich widerholt. Vom Auge in sofern es sieht weiss der Neugeborne nichts. Der Sehende hat überhaupt wenig Gelegenheit zu erkennen, dass im Auge gesehen wird. Nur in den Fällen, wo zwar im Auge empfunden, aber nichts bestimmtes Aeusseres gesehen wird, hat man die Gelegenheit zu bemerken, dass das Auge der Schauplatz dieser Wirkungen ist, im Empfinden des Dunkels vor den geschlossenen Augen und im Empfinden der durch die geschlossenen Augenlieder wirkenden Helligkeit. Auf die eben dargestellte Art muss der neugeborne Mensch lernen die sichtbare Aussenwelt sich selbst gegenüber zu setzen oder die sichtbare Welt ausser sich zu setzen.

Bilder des eigenen Körpers im Sehfelde.

Gewisse Theile unseres Körpers machen nun fast immer einen Theil des Sehfeldes des Auges und also auch der Gesichtsvorstellungen aus. Wenn wir mit einem Auge sehen, so wird die eine Seite des Sehfeldes vom Bilde der einen sichtbaren Seite der Nase eingenommen. Bewegen wir die Augenbraunen herab, so nehmen die Augenbraunen den obern Theil des Sehfeldes ein. Wird die Wange erhoben, so sieht man einen Theil davon an der untern Seite des Sehfeldes, und wird der äussere Theil des Musculus orbicularis palpebrarum contrahirt, so wird auch der äussere Theil des Sehfeldes durch ein Schattenbild, was von den Umgebungen des Auges herrührt, begrenzt. Bilder von Theilen unseres Körpers können also in der ganzen Peripherie des Sehfeldes erscheinen, und zwischen den Bildern von unsern Körpertheilen liegen dann die Bilder der äussern Gegenstände. Wenn wir mit einem Auge sehend die Nasenspitze fixiren, so ragt das Bild der Nase von der einen Seite des Sehfeldes bis in die Mitte. Wenn wir mit beiden Augen zugleich sehen und die Nasenspitze fixiren, so liegt das Bild der Nasenspitze in der Mitte des untern Theils des Sehfeldes, beiden Augen zugleich angehörend, während die Bilder der Nasenseiten zum Theil verloren gehen, indem das eine Auge äussere Objecte sieht an der Stelle, wo das andere ein undeutliches Bild der Nase hat. Wird das Auge mehr nach abwärts gewandt, so erscheint am untern Theil des Sehfeldes nicht mehr bloss die Nase, die Wangen und die Lippen, sondern auch der Rumpf und die Extremitäten. Bei jeder Stellung des Auges aber sieht es immer einen Theil unseres Körpers, der eine bestimmte Stelle in der Peripherie des Sehfeldes oben oder unten oder an den Seiten einnimmt, und das Bild unserer Körpertheile macht einen integrirenden Theil der meisten Gesichtsempfindungen und Gesichtsvorstellungen aus.

Obgleich die Bilder unseres Körpers auch nur auf dem Sehfelde der Netzhaut abgebildet, und von diesem aus dem Sensorium präsentirt werden, so legt ihnen das Sensorium mit derselben Sicherheit wie den Bildern äusserer Gegenstände Objectivität bei. Genau genommen ist das Bild unserer Hand, das wir sehen,

nicht die Hand selbst, sondern nur ihr Schein. Wir greifen nach Etwas, und indem wir diess thun, geschieht im Bilde des Sehfeldes der Netzhaut dasselbe, wir sehen, dass wir greifen, indem der Schein unserer Hand den Schein des Objectes ergreift. Von demselben Acte werden wir auch durch einen andern Sinn, durch das Gefühl der Hand und ihrer Bewegungen unterrichtet. Wunderbar scheint nun, dass, obgleich das Fühlen unserer Körpertheile und das Sehen derselben an ganz verschiedenen Orten geschieht, doch beiderlei Empfindungen nie in Widerspruch gerathen. Die Harmonie und die Vereinigung beiderlei Empfindungen geschieht auch durch die Vorstellung. Dass dem so ist, können wir an einem Beispiel uns versinnlichen, wo die Verschiedenheit des Ortes noch auffallender ist, die Vorstellung aber gleichwohl beiderlei Empfindungen nicht minder enge verknüpft. Wenn wir das Bild unseres Körpers und seine Bewegungen im Spiegel sehen, die Hände bewegen und davon durch das Gefühl sowohl, als durch das Bild im Spiegel unterrichtet werden, so gelingt es uns auch, das Gefühlte und das Gesehene, obgleich es an ganz verschiedenen Orten stattfindet, durch die Vorstellung zu Einem zu verbinden.

Verkehrtsehen und Geradesehen.

Nach optischen Gesetzen werden die Bilder in Beziehung zu den Objecten verkehrt auf der Netzhaut dargestellt, was oben im Objecte ist, erscheint unten im Bilde und umgekehrt, das rechte links, das linke rechts, während die relative Lage der Theile des Bildes ganz dieselbe bleibt. Es entsteht nun die Frage, ob man die Bilder in der That wie sie sind verkehrt, oder ob man sie aufrecht wie im Objecte sehe. Da Bilder und afficirte Netzhauttheilchen eins und dasselbe sind, so ist die Frage physiologisch ausgedrückt, ob die Netzhauttheilchen beim Sehen in ihrer naturgemässen Relation zum Körper empfunden werden.

Meine Ansicht der Sache, welche ich bereits in der Schrift über die Physiologie des Gesichtssinnes entwickelte, ist die, dass, wenn wir auch verkehrt sehen, wir niemals als durch optische Untersuchungen zu dem Bewusstseyn kommen können, dass wir verkehrt sehen und, dass wenn Alles verkehrt gesehen wird, die Ordnung der Gegenstände auch in keiner Weise gestört wird. Es ist wie mit der täglichen Umkehrung der Gegenstände mit der ganzen Erde, die man nur erkennt, wenn man den Stand der Gestirne beobachtet, und doch ist es gewiss, dass innerhalb 24 Stunden Etwas im Verhältniss zu den Gestirnen oben ist, was früher unten war. Daher findet beim Sehen auch keine Disharmonie zwischen Verkehrtsehen und Geradefühlen statt; denn es wird eben Alles und auch die Theile unseres Körpers verkehrt gesehen und Alles behält seine relative Lage. Auch das Bild unserer tastenden Hand kehrt sich um. Wir nennen daher die Gegenstände aufrecht, wie wir sie eben sehen. Eine blosse Umkehrung der Seiten im Spiegel, wo die rechte Hand den linken Theil des Bildes einnimmt, wird schon kaum bemerkt und unsere Ge-

fühle treten, wenn wir nach dem Spiegelbilde unsere Bewegungen reguliren, wenig in Widerspruch mit dem, was wir sehen. Z. B. wenn wir nach dem Spiegelbilde eine Schleife an der Halsbinde machen. Einiger Widerspruch ist allerdings da, weil die Umkehrung unvollkommene Umkehrung der Seiten und nicht Alles zugleich umgekehrt ist.

Volkmann ist mit der vorhererwähnten Ansicht einverstanden. Auch er behauptet, dass es einer Erklärung des Aufrechtsehens nicht bedarf, so lange das Auge nicht Einzelnes, sondern Alles verkehrt sieht. Verkehrt kann nichts seyn, sagt Volkmann, wo nichts gerade ist. Denn beide Begriffe existiren nur im Gegensatze.

Die Erklärung des Aufrechtsehens, dass man nicht das Bild der Netzhaut, sondern die Direction der Lichtstrahlen sehe, enthält etwas Unmögliches, da eine bestimmte Direction der Lichtstrahlen nicht vorhanden ist, sondern jedem Puncte ein ganzer Lichtkegel entspricht, und da doch immer nur der Zustand der Netzhauttheilchen und nicht etwas vor ihnen Liegendes empfunden werden kann. Auch die Erklärung, dass die Nervenhaut nach aussen wirke und die Objecte in kreuzender Richtung nach aussen setze, z. B. nach der Richtung des Perpendikels der Netzhautkrümmung (Bartels), ist eine ganz willkührliche Annahme, da man nicht entfernter Weisse einsehen kann, warum eine Richtung vor der andern den Vorzug haben soll, und da jedes Theilchen der Nervenhaut, wenn es das Vermögen nach aussen zu wirken hätte, nach ebenso viel Richtungen wirken müsste, als sich Radien von ihm gegen die Aussenwelt ziehen lassen. Da man nun das Verkehrtsehen niemals bemerken kann, so ist es auch nicht wahrscheinlich, dass die Natur im Gehirn oder anderswo eine Correction von einem Irrthum veranstaltet habe, den man nie anders, als bei Anstellung optischer Untersuchungen erkennen kann. Der kreuzende Verlauf der Sehnerven kann nicht dafür angeführt werden, da die Kreuzung nur eine theilweise ist. Vergl. über diesen Gegenstand Berthold *über das Aufrechterscheinen der Gesichtsobjecte. Gött.* 1830. und Bartels *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. Berlin* 1834.

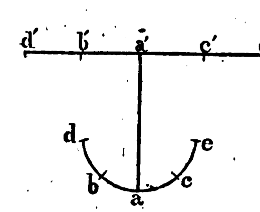
Wäre es möglich, dass von einem Gegenstand ohne Mitwirkung des Lichtes ein Bild auf der Netzhaut entstände, z. B. durch unmittelbare Berührung, so würde in diesem Falle eine Erscheinung des Objectes ohne Umkehrung des Bildes stattfinden, und wäre es möglich denselben Gegenstand einmal durch das äussere Licht und zum zweiten durch unmittelbaren Anstoss desselben auf die Netzhaut zu sehen, so würden die auf beide Weisen bewirkten Bilder auf entgegengesetzten Seiten liegen müssen. Diess ist in der That in Versuchen möglich. Wenn man z. B. mit dem Finger die Netzhaut durch die Sclerotica hindurch drückt, so erhält man vom Finger ein unmittelbares Druckbild. Zugleich kann man aber auch den Finger durch Vermittelung des äussern Lichtes sehen. Beiderlei Bilder liegen auf entgegengesetzten Seiten. Drückt man im Dunkeln bei geschlossenen Augen mit dem oben gesehenen Finger den scheinbar obern Theil des Auges

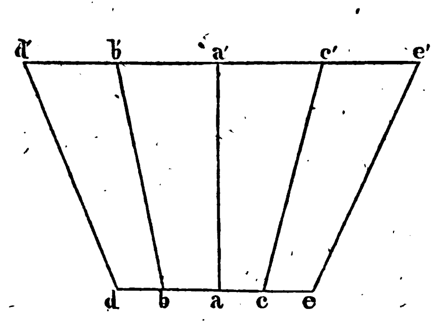
so erscheint das Druckbild unten, drückt man den untern Theil der Netzhaut, so erscheint das Druckbild oben, drückt man den rechten Theil der Netzhaut, so erscheint das Druckbild links und ebenso umgekehrt.

Richtung des Sehens.

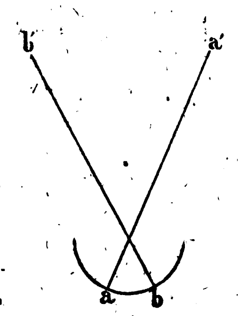
Ehe wir diesen Gegenstand ganz verlassen, müssen wir noch davon handeln, was Einige Richtung des Sehens nennen. Gegenstände, welche auf dasselbe Netzhauttheilchen ihre Bilder werfen, liegen in einerlei Richtung des Sehens. Es sind in Hinsicht der Ursachen, welche die Richtung des Sehens bestimmen, zwei Ansichten möglich, wovon mir aber nur die eine als die richtige erscheint.

1. Die Richtung in welcher Etwas gesehen wird, hängt bloss von dem afficirten Netzhauttheilchen ab, und wie weit und in welcher Richtung dieses Theilchen vom Mittelpuncte der ganzen Netzhaut entfernt ist, oder welche Stelle dieses Theilchen in der ganzen Mosaik der Netzhaut einnimmt. Wirkt auch die Vorstellung nach aussen, und projicirt sie die Affectionen der Netzhaut nach aussen, so bleibt sich die Relation der Bilderchen gleich, und die Gesichtsvorstellung kann gleichsam als eine Versetzung des ganzen Sehfeldes der Netzhaut nach vorwärts gedacht werden, wobei die Seiten dieselben bleiben, das oben erscheinende oben, das unten erscheinende auch unten vorgestellt wird. So wenn *d b a c e* die Netzhaut wäre, *d' b' a' c' e'* aber die Projection der Bilder der Vorstellung nach aussen, so wäre *a'* die Projection von *a*, *b'* die Projection von *b*, *c'* die Projection von *c* u. s. w. *b'* liegt in der Vorstellung auf derselben Seite wie im Netzhautbilde *b*, so liegt *c'* auf derselben Seite wie das Netzhautbild *c*, und eben so mit allen andern entsprechenden Puncten; oder denkt man sich die Netzhaut eben, so wäre die Projection wie in der zweiten Figur. Die Ausdehnung, welche *d' e'* erhält, hängt bloss von der Vorstellung ab, unverändert bleiben bloss die relativen Lagen von *a' b' c' d' e'*.





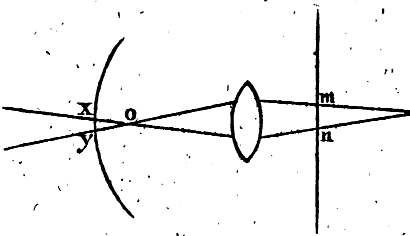
2. Dieser Ansicht entgegengesetzt ist, dass die Projectionen der Bilder sich kreuzen, wie in der folgenden Figur, so dass *a* des Netzhautbildes nach der entgegengesetzten Seite in der Vorstellung projicirt, oder in der Richtung *aa'* gesehen werde. Diese letztere



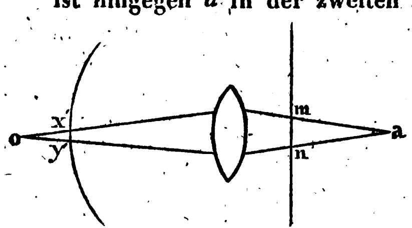
Ansicht kann wieder sehr verschieden seyn, nach der Lage des Kreuzungspunctes, welchen man für die Directionen annimmt.

Hierher gehört: a) die Ansicht derjenigen, welche glauben, dass man die Direction des Lichtes wahrnehme, und also auch in der Direction des Lichtes selbst sehe, eine merkwürdiger Weise selbst in den physikalischen Lehrbüchern sehr häufig verbreitete Vorstellung. Schon Porterfield hat die Unstatthaftigkeit derselben bewiesen und Volkmann zeigt dasselbe.

Beim gewöhnlichen Sehen wird jeder Punct des Bildes auf der Retina durch die Spitze eines Lichtkegels bestimmt, dessen Basis die Breite der Pupille ist. Welcher dieser Strahlen des Kegels soll die Direction bestimmen? Der Achsenstrahl; aber die peripherischen Strahlen sind, wenn sie beim Sehen durch ein Kartenloch isolirt werden, auch hinreichend. Ist der Punct *a* so weit vom Auge entfernt, dass seine Strahlen vor der Netzhaut in *o* sich zum Puncte vereinigen, und sind *mn* zwei Kartenlöcher, so entwerfen sich bei *xy* zwei Bilder von den, durch die Kartenlöcher durchgehenden Lichtbündeln.



Ist hingegen *a* in der zweiten Figur zu nahe dem Auge, so dass das Bild hinter die Netzhaut fällt, und *mn* widen die Kartenlöcher, so erscheinen zwei Bilder von den durch die Kartenlöcher durchgehenden peripherischen Strahlen des Lichtkegels nämlich *x'y'*. Bei einer bestimmten Entfernung des leuchtenden Punctes *a* kann die Entfernung von *x'* und *y'* der zweiten Figur so gross als die Entfernung von *x* und *y* der ersten Figur seyn, und die Bilder erscheinen dann an demselben Ort, dennoch ist die Direction der Strahlenbündel *xo* in der ersten Figur und *ox'* in der zweiten ganz verschieden.

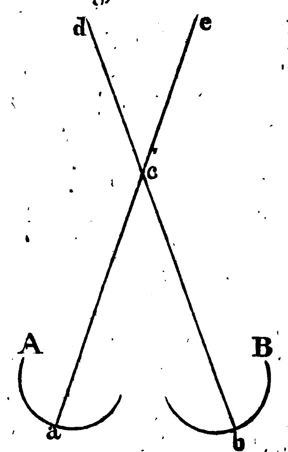


b) Die zweite Modification der zuletzt erwähnten Theorie ist die von Porterfield und Bartels, dass jeder Netzhautpunct in der Richtung einer auf der Netzhaut oder der Tangente des Netzhautpunctes senkrecht stehenden Linie sehe. Diese Ansicht ist ganz willkührlich.

c) Volkmann stellt eine dritte Modification der unter 2. genannten Ansicht auf. Die Richtung der Empfindung sei begründet durch die Lage der empfindenden Stelle zum Kreuzungspunct der Sehstrahlen, welcher nach seinen Untersuchungen mit dem Netzhautbildchen und dem Objecte in einer Linie liegt. Vergl. oben p. 322.

Und dieses finde zufolge angeborner und nicht zu erklärender Gesetze statt. Allerdings findet physikalisch die vollkommenste Uebereinstimmung zwischen den Objecten und den Netzhautbildern statt, und der genannte Kreuzungspunct ist es, durch welchen die von den einen zu den andern gezogenen Linien gemeinschaftlich durchgehen. Indessen liegt nach meiner Meinung in der Thätigkeit des Sehnerven kein nach aussen Wirken in einer bestimmten und exclusiven Richtung. Volkmann statuirt eine unerklärliche angeborne Beziehung der Netzhauttheilchen zu einem Kreuzungspunct hinter der Linse. Die Annahme von etwas Unerklärlichem hat man bei der unter 1 angeführten Ansicht nicht nöthig. Jedem Bild ist seine Richtung durch seine Lage auf der Netzhaut und durch die Lage dieser Stelle zur ganzen Netzhaut bestimmt, und in derselben Ordnung, aber ohne Kreuzung projiciren sich die Gegenstände in der Vorstellung. Das Projiciren kann nicht von einer blossen Biegung der Netzhaut abhängig seyn, es ist nach meiner Meinung in der Ordnung der Netzhauttheilchen zu einander begründet.

Alle Erklärungen der Richtung des Sehens nach dem Princip der zweiten Theorie leiden an einem gemeinsamen Fehler. Das Sehen mit zwei Augen zugleich widerspricht ihnen sämmtlich. Wenn die Richtung des Sehens abhängt von einer Wirkung der Netzhaut in irgend einer bestimmten Richtung nach aussen, entweder in der Direction des Drehpunctes der Augen, oder in einer Richtung, die auf der Netzhaut senkrecht ist, so ist das Einfachsehen mit beiden Augen gar nicht denkbar. Denn das Auge *A* wird das im Mittelpunct der Netzhaut liegende Bild des Punctes *c* in der Richtung *ace* sehen, das Auge *B* wird hingegen das in den Mittelpunct der Retina fallende Bild von *c* in der Richtung *bcd* sehen. Dasselbe *c* wird also nach jener Theorie an zwei ganz verschiedene Orte versetzt werden müssen. Dass die Mittelpuncte beider Netzhäute immer einfach sehen, kann nicht entgegnet werden. Denn wenn sie dasselbe Object an demselben Orte sehen, so können sie es nicht in den Richtungen *ace* und *bcd* nach aussen setzen, so können sie nicht einfach sehen.



Hängt hingegen die Richtung, in welcher etwas gesehen wird, bloss vom Verhältniss der afficirten Netzhauttheilchen zur ganzen Netzhaut ab, so wird *c* auf den identischen Stellen *a* und *b* beider Netzhäute einfach gesehen, und die Mitte des Gesichtsfeldes beider Augen einnehmen.

Urtheil über Gestalt, Grösse, Entfernung, Bewegung.

Zuletzt kommt hier in Betracht das Urtheil über die Gestalt der Körper, ihre Grösse, Entfernung und Bewegung. Das Urtheil

von der Gestalt der Körper aus dem Gesicht ist theils blosse Folge der Empfindung, theils combinirter Vorstellungen. Da die Form der Gesichtsbilder durchaus abhängt von dem Umfang der afficirten Netzhauttheilchen, so reicht die blosse Empfindung hin zur Unterscheidung einfacher flächenhafter Gestalten, z. B. eines Quadrats von einem Kreise.

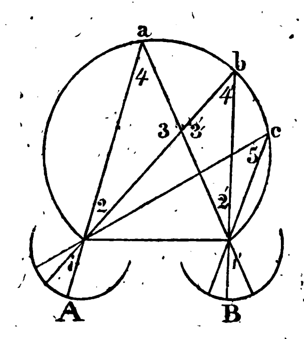
Molyneux legte Locke die Frage vor, ob ein Blindgeborner, welcher einen Cubus von einer Kugel durch das Gefühl unterscheidet, nach plötzlicher Erhaltung des Gesichtes beide durch das Gesicht zu unterscheiden vermöge. Warum beide Philosophen sich verneinend erklären konnten, ist nicht einzusehen. Denn das Fühlen und Sehen beruht auf denselben Grundanschauungen von der Ausbreitung unserer eigenen Organe im Raume. Daher hat auch ein neugebornes Thier sogleich Empfindung der bestimmten Gestalt, indem es die Zitze der Mutter sieht, und diess beweisst allein, dass die Fähigkeit einfache Gestalten aufzufassen nicht erlernt wird. Dagegen ist die Beurtheilung der Gesichtsbilder auf die verschiedenen Dimensionen der Körper eine Sache der Uebung, da alle Gesichtsanschauungen ursprünglich nur flächenhaft sind, und das Urtheil die verschiedenen Flächen, die man bei anderer Stellung zu den Körpern an ihnen wahrnimmt, zur Vorstellung von einem Körper ergänzen muss. Der von Cheselden Operirte sah Alles in einer Fläche, wie es sich in der That in einer Fläche darstellt. Indem aber die Bilder sich ändern, während wir uns im Raume bewegen, indem wir zwischen den Bildern gleichsam durchschreiten, entsteht uns die Vorstellung der Tiefe des Sehraums, welches eine blosse Vorstellung und keine Empfindung ist.

Die scheinbare Grösse der Gegenstände hängt zunächst von der Grösse des afficirten Theiles der Netzhaut, oder von der Grösse des Gesichtswinkels ab, unter dem sie dem Auge erscheinen. Das Urtheil über die wahre Grösse der Gegenstände aus der scheinbaren ist eine Sache der Uebung und der Combination aus schon vorhandenen Vorstellungen von Nähe, Ferne u. s. w.

Die Beurtheilung der Nähe und Ferne ist keine Sache der Empfindung, sondern des Verstandes. Jeder Gegenstand wird für fern gehalten, der unter kleinerm Gesichtswinkel erscheint, als er in unmittelbarer Nähe gesehen wird. Derjenige erscheint ferner, welcher von andern zum Theil bedeckt oder relativ kleiner gesehen wird, als er erscheinen müsste, wenn er mit den andern Gegenständen in derselben Entfernung gelegen wäre. Diese Beurtheilung wird erworben, und ist beim Menschen wenigstens nicht ursprünglich. Für das Kind liegt Alles in gleicher Ferne und es greift nach dem Monde wie nach dem Nächsten.

Es wird von den meisten Physiologen behauptet, dass die Stellung der Augenachsen, welche nöthig ist, um einen Gegenstand zu fixiren, auch viel zur Beurtheilung der Entfernung beitrage, indem die Achsen der Augen mehr und mehr convergiren, je näher ein Gegenstand ist. Dieses Mittel ist indess überschätzt. Bei Gegenständen, die in gerader Richtung vor den Augen liegen, kann es allerdings sehr wirksam seyn, aber bei seitlichen Gegen-

ständen muss es alle Wirksamkeit verlieren, wie sich leicht beweisen lässt. Denn seitliche Gegenstände erfordern eine ganz andere Convergenz der Sehachsen zur Fixation als gerade vorausliegende, wenn beide auch in derselben Entfernung liegen. So



ist die Convergenz der Sehachsen für die Puncte *a*, *b*, *c* gleich, und doch liegt *a* sehr weit von, das seitliche *c* aber sehr nahe bei den Augen. Die Winkel 4, 4' und 5 sind gleich, wenn *abc* ein Kreis; denn es ist die Eigenschaft des Kreises, dass die auf einer gemeinschaftlichen Sehne gegen die Peripherie errichteten Dreiecke gleiche Winkel an der Peripherie haben. Wir lernen daher aus dem Umstande, dass nebeneinander liegende Gegenstände einen gleichen parallaktischen Winkel der Sehachsen haben, nicht, dass sie gleich weit entfernt sind, sondern, dass sie in einem Kreis liegen.

Das Urtheil über Bewegung der Gesichtsobjecte hängt theils von der Bewegung des Bildes über die Netzhaut, theils von der Bewegung der Augen ab, welche einem bewegten Körper folgen.

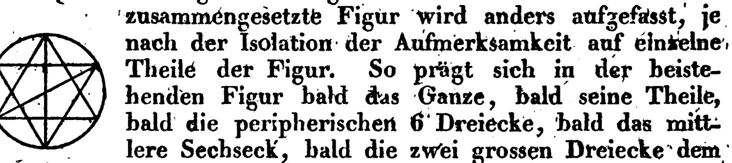
Bewegt sich das Bild auf der Nervenhaut, wenn das Auge und unser Körper ruht, so urtheilen wir, dass das gesehene Object seine Stellung gegen unsern ruhenden Körper verändere. Hierbei kann die Bewegung des Objectes eine scheinbare seyn, wenn sich der Körper bewegt, auf dem wir uns befinden, wie das Schiff auf dem wir stehen. Bewegt sich das Bild auf der Netzhaut nicht, bleibt es vielmehr auf derselben Stelle der Netzhaut fixirt, und folgen die Bewegungen der Augen dem bewegten Körper, so urtheilen wir über die Bewegung des Objectes aus den Gefühlsempfindungen der bewegten Augenmuskeln, oder aus den vom Sensorium zu den Augenmuskeln gesandten Strömungen. Bewegt sich das Bild über die Netzhaut und die Augenmuskeln zugleich in entsprechender Weise, wie beim Lesen, so urtheilen wir dass das Object ruhig sei und wir wissen dass nur wir unsere Stellung zum Object verändern. Zuweilen ist die Bewegung des Gegenstandes scheinbar, wenn doch sowohl die Gegenstände als das Auge ruhig sind. Hierher gehört die scheinbare Bewegung der Gegenstände im Kreise, wenn man sich vorher im Kreise gedreht hat, und zwar entgegengesetzt. Purkinje hat über diese Erscheinungen merkwürdige Beobachtungen gemacht, welche zu beweisen scheinen, dass jene von einem dem Gehirn mitgetheilten Impuls zur Bewegung in der bestimmten Richtung abhängen. Denn die Richtung der Rotation bleibt diejenige im Verhältniss zum Kopf, welche sie ursprünglich war, wenn auch der Kopf beim Aufhören der Kreisbewegung verdreht wird. Z. B. hat man sich mit geradestehendem Kopfe gedreht, und bleibt plötzlich stehen, so drehen sich die Gegenstände horizontal, wendet man jetzt die Achse des Kopfes zur Seite, so drehen sich die Gegenstände nicht mehr horizontal um eine auf den Boden senkrechte Linie, sondern ho-

rizontal um die seitwärts geneigte Achse des Kopfes, daher geht die Cirkelbewegung nun schief aufwärts. Dieselbe Scheinbewegung erfolgt, wenn man mit nach der Seite geneigtem Kopfe sich horizontal dreht, plötzlich still steht, aber den Kopf jetzt aufrichtet. Siehe über diesen Gegenstand Purkinje in *med. Jahrb. d. Oesterreich. Staates.* Mit diesen Scheinbewegungen darf man andere nicht verwechseln, welche aus Nachbildern entstehen und von welchen wir bei diesen handeln werden. Die Scheinbewegungen vom Drehen haben nichts mit den Nachbildern zu thun, sie können auch erfolgen, wenn man sich bei verschlossenen Augen gedreht hat.

Wirkung der Aufmerksamkeit beim Sehen.

Wir schliessen diesen Artikel von der Wechselwirkung der Netzhaut und des Sensoriums mit einer Bemerkung über die Einwirkung des Vorstellungsvermögens auf den Act des Empfindens selbst.

Die Seele kann ihre Aufmerksamkeit bald dem Gesichtssinn, bald dem Gehörsinn, bald dem Gefühlssinn ausschliesslich oder mehr zuwenden. Ist sie mit den Wirkungen des einen Sinnes ausschliesslich beschäftigt, so percipirt sie von den Wirkungen der andern Sinne wenig oder gar nichts. Der Gesichtssinn bringt auch wie jeder andere Sinn keine Wirkungen auf die Seele hervor, wenn sie in tiefe Betrachtungen anderweitig versenkt ist. Mit starrendem Auge sehen wir tief nachdenkend oft gar nichts, indem die Wirkungen der Nervenfasern nicht im Stande sind, das anderweitig thätige Sensorium zu erregen und sich im Gehirn unbeachtet verlieren müssen. Zum Sehen ist also Aufmerksamkeit der Seele nöthig. Aber die Aufmerksamkeit zergliedert auch das, was im Sehfelde vorgeht. Von dem ganzen Sehfelde der Netzhaut wird nicht Alles mit gleicher Schärfe erfasst, sondern bald dieses bald jenes. Die Empfindung wird schärfer, indem das Empfundene zugleich vorzugsweise vorgestellt wird. Jede mathematische zusammengesetzte Figur wird anders aufgefasst, je nach der Isolation der Aufmerksamkeit auf einzelne Theile der Figur. So prägt sich in der beistehenden Figur bald das Ganze, bald seine Theile, bald die peripherischen 6 Dreiecke, bald das mittlere Sechseck, bald die zwei grossen Dreiecke dem Sinne schärfer ein. Je vielgliedriger eine Figur ist, um so mehr Variation bietet sie dem Spiel der Aufmerksamkeit dar. Daher architectonische Verzierungen für den Sinn eine gewisse Lebendigkeit haben, indem sie dem Leben der vorstellenden Thätigkeit immer neues Material schaffen. Siehe über diesen Gegenstand Purkinje *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. Prag* 1823. *I.* Tourtual a. a. O. Vergl. über die in diesem Artikel verhandelten Gegenstände Herrmann *über die Bildung der Gesichtsvorstellungen aus den Gesichtsempfindungen. Hannover* 1835.



2. Von den Nachwirkungen der Gesichtseindrücke oder den Nachbildern.

Die Dauer der Empfindungen in der Nervenhaut ist viel länger als die Einwirkung des Lichtes stattfindet; nach Plateau (Fechner's *Repert.* 2. 210.) dauert die Empfindung 0,32 — 0,35 Secunden über den Gesichtseindruck, und die Dauer der Nachwirkung nimmt in geradem Verhältniss zu mit der Dauer eines Gesichtseindruckes. Daher kann man das Nachbild eines hellen Gegenstandes, z. B. der lichten Fensterscheiben, sehr lange im Auge behalten, wenn man die Fenster vorher sehr lange unverwandt angesehen hat. Auch lässt sich die Dauer dieser Bilder bei geschlossenen Augen sehr verlängern, wenn man die geschlossenen Augen durch Hinab- und Hinaufbewegen der Hand abwechselnd beschattet und durch das durchwirkende Tageslicht erhellt. Aus der Dauer der Nachbilder erklärt sich die Erscheinung feuriger Kreise beim Bewegen eines Lichtes im Kreise vor den Augen, desgleichen die Vermischung der Gesichtseindrücke der Speichen eines schnell laufenden Rades und der Farben des Farbenkreisels. Bei einer nur momentanen Beleuchtung, z. B. durch den Blitz oder electrischen Funken wird die Vermischung der Bilder vermieden, und so lassen sich auch die Schwingungen einer Saite noch sehen.

Wird ein Körper mit reihenförmig bewegten Theilen sehr lange betrachtet, so behalten die Nachbilder auch einen Schein von Bewegung in derselben Richtung, indem sie der Reihe nach verschwinden. So lassen sich meines Erachtens gewisse Scheinbewegungen erklären. Hat man lange auf die Wellen eines fliessenden Wassers gesehen und sieht plötzlich ab auf den Boden, so scheint sich der Boden zu bewegen und zwar in entgegengesetzter Richtung als die Wellen des Wassers es thaten. Diese Erscheinung bemerkte ich oft, wenn ich aus dem Fenster auf den nahen bewegten Fluss und dann auf das Pflaster der Strasse sah. Ich sah sie auch beim Fahren im Dampfschiff auf der See, wenn ich lange die am Schiff vorbeiziehenden Wellen betrachtete und nun plötzlich auf das Verdeck des Schiffes sah. Nimmt man an, dass noch Nachbilder der Wellen im Auge waren, und dass sie der Reihe nach verschwinden, wie sie in Folge der Bewegung entstanden, so wird das Vorbeiziehen der Nachbilder beim Sehen auf den Boden den Schein hervorbringen müssen, als ob der Boden in entgegengesetzter Richtung sich bewege.

Man kann die qualitativen Unterschiede der Nachbilder in drei Classen bringen. Die Nachbilder sind entweder farblose von farblosen Bildern, oder farbige Nachbilder nach farblosen objectiven Bildern, oder farbige Nachbilder nach farbigen objectiven Bildern.

I. Farblose Nachbilder nach farblosen objectiven Bildern.

J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes p.* 401.

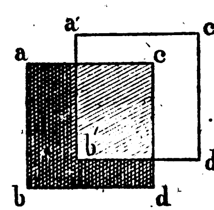
Die reinen Nachbilder weisser oder lichter Gegenstände sind auch licht oder weiss, die Nachbilder dunkler Gegenstände auch dunkel. So ist das Nachbild eines schnell bewegten Lichtes auch licht. Wird das Auge nach einer lebhaften Empfindung plötzlich in Ruhe versetzt, geschlossen und von der Helligkeit abgewandt, oder noch besser ganz verdeckt, so ist das Nachbild des Weissen und Lichten auch weiss und licht, das Nachbild des Dunkeln oder Schwarzen auch dunkel oder schwarz. Sieht man z. B. im Zimmer lange gegen die lichten Fensterscheiben und dunkeln Fensterrahmen, schliesst dann plötzlich die Augen, wendet sie vom Fenster ab und bedeckt sie mit der Hand, so dass durchaus kein Licht mehr, selbst nicht durch die Dicke der Augenlieder ins Auge fällt, so erscheint das Nachbild der lichten Fensterscheiben auch licht, das Nachbild der dunkeln Fensterrahmen auch dunkel.

Dagegen kann sich die Beleuchtung der Bilder im Nachbild unter gewissen Bedingungen umkehren, und was vorher licht war schwarz, das Schwarze dagegen licht erscheinen. Diese Umkehrung der Nachbilder erfolgt jedesmal, wenn das Nachbild eines lichten Gegenstandes auf einem lichten objectiven Grunde gesehen wird, wenn man die Augen nicht schliesst, und sie bei Beobachtung des Nachbildes auf die weisse Wand oder auf eine weisse Papierfläche heftet. Daher erscheint das Blendungsbild der Sonne auf einer weissen Wand schwarz oder grau, während es dagegen im ganz dunkeln Raum weiss bleibt. So erscheinen ferner die Nachbilder der Fensterscheiben schwarz, der Fensterrahmen weiss, wenn man die geschlossenen Augen gegen das Licht des Fensters hält, so dass das Licht noch durch die geschlossenen Augenlieder durchwirkt und die Retina milde erhellt. Die Erklärung dieser Erscheinungen ist leicht. Die Stelle des Auges, welche Lichtes gesehen hat, ist hernach noch gereizt, die Stelle, welche Schwarzes gesehen hat, hernach ruhig und viel reizbarer. Sieht das Auge in diesem Zustande auf eine weisse Wand, so bringt das Licht der weissen Wand auf den gereizten Stellen der Netzhaut einen viel schwächern Eindruck hervor, als auf den Stellen der Netzhaut, welche ruhig und daher sehr reizbar sind. Daher sieht die ruhige Stelle der Netzhaut, die vorher Schwarz gesehen hatte, die weisse Wand lichter als diejenige Stelle der Netzhaut, welche vorher Licht gesehen hatte, und daher die Umkehrung der Nachbilder.

Aehnliche Erscheinungen kommen selbst beim plötzlichen Wechsel des Lichten und Dunkeln im ganzen Sehfelde vor. Aus dem Dunkeln kommend sehen wir wegen der grossen Reizbarkeit der Netzhaut alles überaus hell, und aus dem Hellen in mässiges Dunkel tretend erkennet man anfangs nichts, bis sich die Retina in der Ruhe erholt, und ihre Reizbarkeit sich auch für das mässig Helle gesteigert hat, das dann wohl erkannt wird. Ein Helles erscheint immer heller nach einem Dunkeln, ja selbst neben einem Dunkeln. Dieselben Erscheinungen kommen bei den andern Sinnen vor. Die Kälte wird am stärksten empfunden nach der Wärme, und ein geringer Unterschied bewirkt nach grosser Wärme das Gefühl der Kälte bei

einer Temperatur, die sonst für warm gelten würde. Die Unterschiede von hell und dunkel, warm und kalt sind daher relativ.

Die Nachbilder verändern übrigens ihren Ort in Bezug zum ganzen Körper mit jeder Bewegung des Auges, und erscheinen aus leicht einzusehenden Gründen immer da, wo man die Netzhaut hin wendet. Man betrachte ein schwarzes Quadrat auf einem weissen Felde, lange Zeit fixirend. Wendet man dann den Blick ein wenig ab, ohne dass das Auge das schwarze Quadrat ganz verlässt, vielmehr auf den Randtheil des Quadrats, so fällt ein Theil des Nachbildes als *a'c'd'* frei auf das weisse Blatt, der daher als lichter Rand an der einen Seite des objectiven Bildes hervorragt. In einem Stück decken sich das objective Bild und das Nachbild. Ein Stück des objectiven Bildes nämlich *abd* ist ganz frei geworden. Der freie Theil des Nachbildes *a'c'd'* erscheint dann sehr licht, der freie Theil des objectiven Bildes *abd* erscheint tief schwarz, der Theil hingegen wo sich Nachbild und objectives Bild decken, erscheint schwarzgrau, als wenn sich beide Zustände ausgleichen sollten. Die Erklärung ist diese. Die Stelle der Netzhaut *a'c'd'*, welche vorher Schwarz gesehen, sieht das Weisse heller, weil sie ruhig ist, daher der lichte Saum *a'c'd'*. Die Stelle des Bildes, wo sich das objective Quadrat und das subjective Quadrat decken, ist nicht verändert. Die frei gewordene Stelle des objectiven Bildes *abd* erscheint schwärzer als zuvor, denn indem der Blick sich nach der Seite gewandt hat, fällt dieser Theil des objectiven Bildes auf eine Stelle der Netzhaut, welche vorher den weissen Grund gesehen hatte, und welche daher abgestumpft ist.



II. Farbige Nachbilder nach farblosen objectiven Bildern.

Goethe *Farbenlehre p.* 14.

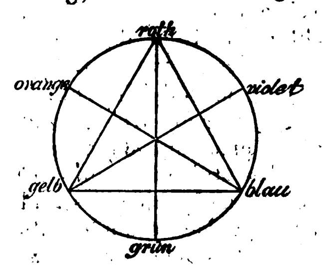
Wenn die Netzhaut von einem sehr heftigen lichten Eindruck z. B. dem Lichte des Sonnenbildes afficirt war, so erscheint das Nachbild nicht bloss entweder licht auf dunkelm Grunde, oder dunkel auf weissem Grunde, sondern das Nachbild nimmt bis zur vollständigen Erholung der Netzhaut subjective Farben an, und die Farben sind die Zustände, welche die Netzhaut von der Blendung bis zur Erholung durchläuft. Auf das dunkle Nachbild der Sonne auf lichtem Grunde folgen sich dunkele Farben bis zur hellsten in folgender Ordnung: schwarz, blau, grün, gelb, weiss. Die Farbenerscheinung entwickelt sich vom Rand aus. Ist das Nachbild weiss geworden, so unterscheidet es sich nicht mehr von der weissen Wand, d. h. diese Stelle der Netzhaut sieht die weisse Wand jetzt gerade so, wie alle anderen nicht geblendeten Stellen der Netzhaut. Sieht das Auge aus der Sonne ins ganz Dunkele, so ist die Folge der Farben vom Weissen und von der hellsten bis zur dunkelsten Farbe, zuletzt bis zum Schwarzen, nämlich weiss, gelb, orange, roth, violet, blau, schwarz. Ist das Nachbild vom Blauen ins Schwarze übergegangen, so un-

terscheidet es sich nicht mehr vom dunkelm Grunde, d. h. diese Stelle der Netzhaut ist so ruhig wie alle anderen, welche vorher gar nicht gereizt waren.

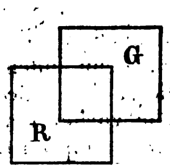
Auch diese Erscheinungen, welche sich aus objectiven Ursachen gar nicht erklären lassen, zeigen wieder, dass die innere Ursache der Farben in den Zuständen der Netzhaut selbst liegt.

III. Farbige Nachbilder nach farbigen objectiven Bildern.

Die Nachbilder von farbigen objectiven Bildern sind immer farbig, und zwar zeigt das Nachbild niemals die Wiederholung der objectiven Farbe, sondern immer den complementären Gegensatz der primären Farbe. Das Nachbild von Roth ist also grün, von Grün ist roth, das Nachbild von Gelb ist violet, von Violet ist gelb. Das Nachbild von Blau ist orange, von Orange ist blau. Die sich gegenseitig hervorrufenden Farben sind in beistehender Figur gegenübergestellt.



Blickt man längere Zeit auf ein lebhaft rothes Feld auf weissem Grunde und wendet dann plötzlich den Blick ganz zur Seite auf den weissen Grund, so erscheint das Nachbild des Quadrats in derselben Grösse und Gestalt aber grün. Wird der Blick nur wenig zur Seite, z. B. auf die Seite des objectiven Bildes gewendet, so decken sich objectives Bild und Nachbild zum Theil, wie in beistehender Figur, aber ein Theil des objectiven Bildes *R* ist frei, ein Theil des Nachbildes ist ebenfalls frei *G*, und dieser Theil erscheint als einseitiger grüner Saum des rothen objectiven Bildes. Da, wo sich das objective Bild und das Nachbild decken, ist die Farbe des objectiven Bildes vorhanden, aber ins graue geschwächt, weil die Netzhaut an dieser Stelle für Roth durch das grüne Nachbild abgestumpfter ist, als an der jetzt frei erscheinenden Stelle des objectiven Bildes *R*, welche auf einem Theil der Netzhaut liegt, der vor der Wendung des Blickes den weissen Grund sah.



Die Erklärung dieser Erscheinungen kann eine doppelte seyn, eine Erklärung leitet sie aus physikalischen, die andere aus physiologischen Principien ab.

1. *physikalische Erklärung.* Das weisse Licht enthält alle Farben zugleich. Sieht die Netzhaut von einem objectiven rothen Bilde weg, so ist sie für das rothe Licht abgestumpft, aber für die andern farbigen Lichter noch empfänglich, sieht diese Stelle der Netzhaut nachher auf eine weisse Wand, so erkennt sie wegen der Abstumpfung für Roth, das im weissen Licht der Wand enthaltene Roth nicht mehr, wohl aber sieht sie die im weissen Licht noch enthaltenen übrigen Farben, den complementären Theil zu Roth nämlich Grün.

2. *physiologische Erklärung.* Das Sehen einer der drei Haupt-

farben ist nur einer der drei Zustände, zu welchen die Netzhaut im Zustande der Reizung tendirt; ist dieser Zustand künstlich erregt, so befindet sich die Netzhaut im Maximum der Tendenz zu der complementären Farbe, die daher in dem Nachbilde auftritt. Beide Erklärungen sind im Allgemeinen genügend, und die erstere scheint sogar bestimmter und wahrscheinlicher; indess wird doch die physikalische Erklärung aus Thatsachen unwahrscheinlich. Denn wenn die weisse Wand die Ursache des farbigen Nachbildes ist, so darf die complementäre Farbe des Nachbildes nicht mehr auf schwarzem Grunde erscheinen. Ich habe indess gezeigt, dass das Nachbild einer Farbe selbst auf einem schwarzen Felde complementär ist, Muell. *Archiv* 1834. *p.* 144. und es bleibt complementär, wenn man in einen durchaus dunkeln Raum sieht.

Für die Erscheinungen der farbigen Nachbilder sind nicht alle Menschen gleich empfänglich. Manchem ist es schwer diese Phänomene zu zeigen, andere sehen sie auf der Stelle. Wenn man sie aber einmal beobachtet hat, so sieht man sie ungemein leicht wieder. Die meisten Menschen sind mit den Nachbildern aus Mangel an Aufmerksamkeit wenig bekannt. Aber wer sie und ihre Gesetzmässigkeit einmal kennt, wird bis zur Qual oft von ihnen verfolgt. Dahin gehören die lichten Ränder der Gegenstände in der Dämmerung, was von dem Aufblitzen des Nachbildes an dem einen oder andern Rande herrührt, ferner der zuweilen beobachtete, und manchen Menschen mysteriös gewordene Schein um Gegenstände, das sogenannte Leuchten der Blumen in der Dämmerung und dergleichen. Der vor einem Bilde Andächtige kann das Nachbild desselben da sehen, wo er sein Auge hinwendet.

3. Von der Wechselwirkung der verschiedenen Theile der Nervenhaut unter sich.

Obgleich die Theilchen der Netzhaut unveränderlich jedes seine Stelle im Sehfelde repräsentiren, so giebt es doch eine gewisse Wechselwirkung derselben gegeneinander, vermöge welcher der qualitative Zustand des einen auf den Zustand des andern Einfluss hat, und das Bild auf dem einen, durch das Bild auf dem andern modificirt wird. Eine grosse Menge von Erscheinungen, die man bisher als verschieden von einander angesehen, können unter diesen gemeinsamen Begriff gebracht werden, wie das Verschwinden der Bilder, die Vertauschung ihrer Farben gegen die des Grundes, das Hervortreten entgegengesetzter Farben unter gewissen Umständen, die farbigen Schatten, die Wirkung des Hellen auf die Empfindung des Dunkeln und umgekehrt.

Man kann diese Erscheinungen wieder unter zwei Classen bringen. Bei der einen theilt sich der Zustand des grössern Theils der Netzhaut dem kleinern Theil der Netzhaut mit, bei der andern ruft der Zustand des grössern Theils der Netzhaut den entgegengesetzten Zustand in dem kleinern Theil der Netzhaut hervor.

A. Mittheilung der Zustände zwischen verschiedenen Theilen der Nervenhaut. Irradiation.

Wenn in einem Bilde zwei entgegengesetzte Eindrücke nebeneinander stattfinden, so hat unter gewissen Umständen der eine auf den andern Einfluss. Bietet das Bild zur Hälfte den einen, zur andern Hälfte den andern Eindruck dar, so findet diese Einwirkung nicht statt, denn beide halten sich gleichsam das Gleichgewicht. Nimmt aber der eine Eindruck nur einen kleinen Theil der Netzhaut, der andere den grössten Theil der Netzhaut ein, so kann bei sehr langem Betrachten der Eindruck, welcher den grössten Theil der Netzhaut einnimmt, sich über die ganze Netzhaut verbreiten und das kleine entgegengesetzte Bild ganz verschwinden, an dessen Stelle dann die Beleuchtung des Grundes tritt. Die seitlichen Stellen der Netzhaut, welche ausser der Achse liegen, sind mehr als der mittlere Theil derselben zu diesen Erscheinungen geeignet, aber kein Theil der Netzhaut ist davon ausgenommen. Am leichtesten erscheint das Phänomen jedoch auf der Eintrittsstelle des Sehnerven.

1. Verschwinden der Gesichtsobjecte ausser der Eintrittsstelle des Sehnerven.

Man betrachte einen Schnitzel farbigen Papiers auf einem weissen Grunde lange Zeit bis zur Ermüdung des Auges; auf einmal verschwindet der farbige Eindruck auf eine kurze Zeit ganz, und an seine Stelle tritt der weisse Grund, so dass das farbige Bild vom weissen Grunde wie weggewischt wird. Gelingt das Phänomen auf den seitlichen Theilen der Netzhaut ausser der Mitte am leichtesten, so ist doch auch der mittlere Theil der Nervenhaut dazu fähig, wie man bei dergleichen Versuchen bald findet. Purkinje hat diese Phaenomene beschrieben. Sie beweisen, dass bei längerer Dauer der Einwirkung, die Netzhauttheilchen ihre Zustände einander mittheilen und dass die Thätigkeit ihrer Theilchen in einem sehr beschränkten Grade einer Irradiation in die Breite fähig ist. Farbige Bilder auf weissem Grunde sind dazu am meisten geeignet, eine kleine schwarze Figur verschwindet sehr schwer und sehr spät auf weissem Grunde, weil die Empfindung eines Eindrucks lebendiger ist, wenn sein Gegensatz zugleich empfunden wird. Das Verschwinden dauert übrigens nur einige Secunden, dann taucht das objective Bild sogleich wieder hervor.

2. Verschwinden der Gesichtsobjecte in der Eintrittsstelle des Sehnerven.

Das Verschwinden der Gesichtsobjecte in der Eintrittsstelle des Sehnerven ist länger bekannt und von Mariotte entdeckt. Aber diese Stelle der Nervenhaut hat diese Eigenschaft nicht vor den übrigen voraus, sondern besitzt sie nur in einem höherm Grade. Betrachtet man mit einem Auge einen Punct so, dass ein davon seitlich liegender Gegenstand sein Bild auf die Eintrittsstelle des Sehnerven

● +

werfen muss, so verschwindet das Bild plötzlich oder wenigstens sehr bald. Schliesst man z. B. das linke Auge und fixirt den beistehenden Punct in einer Entfernung von 5 Zoll vom Auge sehr scharf und unverwandt mit dem rechten Auge, so verschwindet das Kreuz und an dessen Stelle tritt die Farbe des Grundes. Die Entfernung des Gegenstandes vom Auge muss etwa 5 Mal so gross seyn, als die Entfernung des Kreuzes und Punctes. Dass es die Eintrittsstelle des Sehnerven ist, wovon diess abhängt, erkennt man sogleich, wenn man umgekehrt das Kreuz fixirt. Dann verschwindet der Punct entweder gar nicht, oder nicht schneller als an jeder andern Stelle der Netzhaut.

Mit Unrecht hat man aus dieser Erscheinung gefolgert, dass die Eintrittsstelle des Sehnerven ganz unempfindlich sei, denn sie empfindet in der That, aber die Farbe des Grundes, oder des im übrigen Theil der Netzhaut, oder in den nächstliegenden Theilen der Netzhaut vorwaltenden Eindrucks.

Aus diesen Erscheinungen folgt, dass die Netzhauttheilchen eines gewissen Grades der Wechselwirkung fähig sind. Diese Wechselwirkung kann aber auch in einer ganz andern Weise erfolgen, wie in den in dem folgenden Artikel zu beschreibenden Erscheinungen.

B. Erregung entgegengesetzter Zustände in nebeneinander liegenden Theilen der Netzhaut.

Bei den vorher beschriebenen Phänomenen pflanzt sich der vorwaltende Eindruck ohne Veränderung in die Breite fort und vertilgt den weniger ausgedehnten davon verschiedenen Eindruck. In den jetzt zu beschreibenden Erscheinungen verändert der eine Eindruck den andern so, dass der zweite bleibt, aber zugleich den Gegensatz des ersten zeigt. Die erst genannten Erscheinungen treten nur allmählig und bei sehr langer Betrachtung der Bilder ein, die letzt genannten erfolgen augenblicklich und dauern.

1. Helle und dunkle durch Contrast sich hebende Bilder.

Ein graues Feld auf weissem Grunde erscheint dunkler gegen den weissen Grund, als wenn man dieselbe Tinte, das Grau allein über das ganze Sehfeld verbreitet betrachtet. Jeder Schatten hebt sich durch Contrast stärker hervor, je heller die Beleuchtung ist, die ihn verursacht. Hieher gehört folgende Erscheinung, die als Beispiel für viele andere gelten kann. Man beleuchte ein weisses Papier mit einem Kerzenlicht, das Papier macht den Eindruck des Weissen, stellt man nun ein zweites Kerzenlicht davon entfernt auf, und bewirkt man durch einen Körper einen Schatten, so ist dieser grau, obgleich die Stelle des Schattens doch so vollkommen wie vorher von dem ersten Kerzenlicht beleuchtet wird. Dieselbe Stelle erscheint nun grau, die vorher ohne Gegensatz weiss erschien. Daher erscheint auch ein Schatten auf weissem Felde viel dunkler, als wenn man ihn durch eine Röhre allein betrachtet.

Viele andere hieher gehörige Erscheinungen hat Tourtual in seiner Schrift über *die Erscheinung des Schattens. Berlin* 1830. erläutert.

2. Physiologische Farben durch Contrast.

Betrachtet man einen sehr kleinen matt grauen Papierschnitzel auf einem grossen lichtfarbigen Felde, so erscheint der graue Papierschnitzel nicht mehr ganz grau, sondern mit einer leichten farbigen Tinte, welche der Contrast der objectiven Farbe des Feldes ist. So z. B. erscheint der graue Papierschnitzel leicht röthlich auf grünem Felde, dagegen grünlich auf rothem Felde, mit orangefarbener Nebentinte auf hellblauem Felde, und mit bläulicher Tinte auf orangenem Felde, gelblich auf hellvioletem Felde, violet auf hellgelbem Felde. Um diese Erscheinung zu sehen, ist es nöthig, dass der farbige Grund eine sehr reine helle viel weisses Licht zugleich enthaltende Farbe habe. Nicht jedes farbige Papier taugt dazu. Am deutlichsten ist die Erscheinung, wenn man ein farbiges mit dünnem Papier bedecktes Glas vor ein Lampenlicht hält, und eine Stelle des Glases und Papiers mit einem Papierschnitzel bedeckt. Der Papierschnitzel erscheint dann leicht in der Farbe des Contrastes. Die auf p. 368. befindliche Figur zeigt die Farben, welche physiologisch Contraste bilden, die Contraste stehen sich gegenüber. Die physiologischen Contraste sind dieselben, welche wir oben als complementäre Farben kennen gelernt haben. Die hervorgerufene Contrastfarbe giebt mit der ursprünglichen zusammen immer die Summe der drei Hauptfarben Blau, Roth, Gelb. Die Contrastfarbe zu Gelb ist z. B. Violet, welches Blau und Roth enthält. Gelb und sein Contrast sind daher zusammen so viel als Gelb, Blau, Roth oder als alle Farben zugleich. So sind Roth und sein Contrast Grün (gelb und blau) die Summe aller Hauptfarben, Blau und sein Gegensatz Orange (gelb und roth) bilden wieder die Summe aller Hauptfarben.

Da die Contrastfarben rein subjectiv sind, so folgt aus diesen Erscheinungen, dass die Farbe des Contrastes als entgegengesetzter Zustand in der Retina durch die objective Farbe hervorgerufen wird, und dass die in der Netzhaut entstehenden Gegensätze durch Wechselwirkung sich das Gleichgewicht halten. Diese Erscheinungen beweisen wieder, dass die Farben physiologisch nur bestimmte Zustände der Nervenhaut sind, welche sich in verschiedenen Netzhauttheilen wechselseitig hervorrufen können. Eine nothwendige Bedingung zur Erscheinung des physiologischen Contrastes ist relative Ruhe an der Stelle, wo der Contrast hervortreten soll, die relative Ruhe ist das Grau, und nur Grau zeigt den Contrast einer objectiven Farbe farbig. Eine zweite Bedingung ist, dass die objective Farbe sehr licht sei.

Hieher scheinen auch einige von Smith, Brewster und mir beobachtete Erscheinungen zu gehören, worüber in Muell. *Archiv* 1834. *p.* 144. 145. berichtet ist.

3. Farbige Schatten.

Das Phänomen der farbigen Schatten gehört in dieselbe Kategorie, wie die vorhererwähnten Erscheinungen. Doch sind nicht alle farbigen Schatten von dieser Art und eine gewisse Classe derselben hat nur seine Ursache in der farbigen Beleuchtung eines Schattens.

a. *Objective farbige Schatten.*

Wird der Schatten eines Körpers, der von farblosem oder farbigem Lichte erregt wird, selbst wieder von einem andern farbigen Lichte erhellt, so hat er natürlich einen farbigen Schein. In der Dämmerung des Himmelslichtes erscheinen die Schatten der Körper bei Kerzenlicht blau und gelb, je nachdem der Schatten vom bläulichen Himmelslicht, oder vom Kerzenlichte beleuchtet wird. Es entstehen nämlich bei doppelter Beleuchtung zwei Schatten mit verschiedenen Farben. Der eine Schatten eines Stäbchens auf weissem Papier ist unter diesen Umständen, indem er nicht vom bläulichen Himmelslichte, wohl aber vom Kerzenlichte beschienen werden kann, gelb, der zweite Schatten ist blau, weil er vom gelben Kerzenlicht nicht beschienen werden kann, wohl aber vom bläulichen Himmelslicht beschienen wird. Alle übrigen Stellen des Papiers zeigen keine vorwaltende Farbe, weil sie von beiderlei Licht zugleich beschienen werden. Die vollkommen objective Natur dieser Schatten hat Pohlmann Poggend. *Ann.* 37. 319. nachgewiesen.

b. *Subjective farbige Schatten.*

Lässt man ein farbiges Licht (durch ein farbiges Glas oder auch durch Reflexion) auf eine weisse Tafel fallen, und erzeugt auf der nun farbig erscheinenden Fläche einen Schatten durch einen aufgestellten schmalen Körper, beleuchtet darauf diesen Schatten mit weissem Tageslichte, so ist der Schatten von der complementären Farbe der ursprünglichen,

d. h. grün bei ursprünglichem rothem Licht,
roth — — — — grünem Licht,
violet — — — — gelbem Licht,
gelb — — — — violetem Licht,
orange — — — — blauem Licht,
blau — — — — orangenem Licht.

Die Versuche gelingen auch bei Beleuchtung des Schattens durch Kerzenlicht. Die Beleuchtung des Schattens durch farbloses Licht ist eine nothwendige Bedingung der Erscheinung. Wird im absolut dunkeln Raum farbiges Licht eingelassen und in diesem ein Schatten bewirkt, so ist er wie Grotthuss gezeigt hat, nicht farbig. Es gehört also eine Mitwirkung des weissen Lichtes zur Erzeugung des Phänomens, sei es, dass dadurch auf das farbige Licht eingewirkt, oder dass die schattige Stelle der Retina dadurch erregt wird. Einige ältere Erklärungen der Erscheinungen können völlig übergangen werden. Die Erklärung derselben kann nur auf einer objectiven Veränderung, gegenseitigen Verände-

rung des farbigen und weissen Lichtes, oder auf den physiologischen Erscheinungen des Contrastes basiren.

Eine Erklärung aus objectiven Ursachen in dem eben angedeuteten Sinne versuchte v. Münchow. Seine Ansicht beruht auf der von ihm aufgestellten Hypothese, dass farbiges Licht in dem Raum, den es einnimmt, die Eigenschaft besitze, von anderem diesen Raum durchdringenden farblosen Lichte den ihm selbst homogenen Antheil unwirksam zu machen, und nur das complementäre Licht durchzulassen. Siehe Pohlmann *a. a. O. p.* 323. Nach dieser Hypothese von Münchow würde das blaue Licht mit weissem Licht zusammentreffend, sich mit dem blauem Lichte das im Weiss enthalten ist, neutralisiren, so dass die complementäre Farbe des blauen Lichtes Orange übrig bliebe. v. Münchow berief sich in Hinsicht der Möglichkeit dieser Einwirkung des von verschiedenen Seiten kommenden Lichtes aufeinander auf den Versuch von Frauenhofer, wonach ein Lichtstrahl einen andern von seiner Bahn ablenken kann. Pohlmann widerlegt jene Hypothese durch einen Versuch. Das farbige Licht einer Glasscheibe beleuchtete eine weisse Fläche innerhalb eines Kastens, auf der Scheibe lag ein Streifen, welcher den Schatten auf die weisse Fläche des Kastens warf. Statt aber den Schatten vom farbigen Lichte durch das Tageslicht zu beleuchten, liess er dieses nur mittelst eines Rohres auf den Schatten zu, so dass das Rohr bis in den Schatten reichte. Freilich kann auch in diesem Falle durch Reflexion von den Wänden des Kastens farbiges Licht in den Schatten gelangen, und hier dieselbe Wirkung auf das Tageslicht hervorbringen.

Die gewöhnlichste Erklärung der farbigen Schatten ist die aus dem physiologischen Contrast, so dass die complementäre Farbe des Schattens für bloss subjectiv gehalten wird. Sie ist von Rumford, Goethe, Grotthuss, Brandes, Tourtual und Pohlmann vorgetragen und die meisten Physiker theilen sie.

Für diese Erklärung lässt sich anführen, was schon Rumford beobachtete, dass die Farbe des Schattens von einem farblosen Schatten nicht unterschieden werden kann, wenn man den Schatten allein ohne den farbigen Grund durch ein Rohr ansieht.

Diese Erklärung wird aus den im vorhergehenden Artikel betrachteten Erscheinungen sehr wahrscheinlich, bei welchen alle irreführenden Elemente des Versuchs fehlen, die bei den farbigen Schatten vorhanden sind. Ein kleines graues Feld auf einem hellen weisslich grünen Grunde hat einen rothen Schein, wenn die Farbe des Grüns viel Licht hat. Ist das Grün nicht licht und weisslich, so behält das graue Spectrum sein einfaches Grau. Um lichte Farben zu erhalten, kann man folgendermassen zu Werke gehen. Man halte ein grünes Glas dicht vor eine Lampe, auf dem grünen Glas ist ein kleiner Papierstreifen aufgeklebt, dieser wird durch ein farbloses Licht matt beleuchtet; er erscheint roth. Hier ist das Phänomen auf die einfachsten Bedingungen reducirt.

C. Angenehme Wirkung der physiologischen Contraste, physiologische Grundsätze der Farbenharmonie.

Goethe *Farbenlehre*.

Die in den vorhergehenden Artikeln beschriebenen Erscheinungen beweisen deutlich, dass die Nervenhaut des Auges durch eine einzelne Farbe in einen einseitigen Zustand versetzt wird und dass sie selbst zur Entwickelung der Gegensätze tendirt, welche diesen einseitigen Zustand complementiren. Wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn diejenigen Zusammenstellungen von Farben einen angenehmen und wohlthätigen Eindruck auf das Auge und auf die Seele machen, welche diese Gegensätze schon vollständig enthalten. Alle complementären Farben machen daher auch einen angenehmen Eindruck, und alle grellen nicht complementären Farben einen unangenehmen Eindruck, wenn sie herrschen. In diesem Sinne können die complementären Farben auch die harmonischen, die nicht complementären die disharmonischen heissen. Eine Zusammenstellung von complementären Farben ist eine harmonische, und andere Zusammenstellungen sind disharmonisch, je einseitiger und greller sie sind. Ein vorherrschendes brennendes Roth ist so unangenehm, als ein grelles herrschendes Gelb, ein uniformes herrschendes Blau. Daher schon der Sinn der Menschen, wo diese Farben allein in grösserer Ausdehnung angebracht werden sollen, sie durch Beimischung von Weiss oder Grau mildert und erträglicher macht. Dagegen wird das reinste Roth angenehm neben seinem complementären Grün, das Blau angenehm neben Orange oder Gold, das Gelbe angenehm neben Violet. Dergleichen harmonische Zusammenstellungen liegen in der p. 368. befindlichen Figur gegenüber, wie die complementären Farben und man sieht aus der Figur, welche Mischung harmonisch ist zu einer bestimmten andern Mischung. Geschmackvolle Frauen mildern die Farben ihrer Kleider, wenn sie einfarbig sind, durch Wahl der trüben Farben, oder stellen in ihren Kleidern, wenn sie reine Farben tragen, harmonische Farben zusammen, z. B. ein rothes Tuch auf einem grünen Kleide, Lila mit Gelb, Blau mit Orange. Welche Pracht und Anmuth liegt in der Verbindung von goldenem Orange und Blau, einer goldorangenen Frange an einer blauen Drapperie. Dagegen würde jeder die Tracht einer Frau, welche reines Gelb und Roth, oder reines Gelb und Blau, oder reines Blau und reines Roth enthielte, für hässlich und abgeschmackt halten. Nur in den Nationalzeichen und bei den Trachten der Soldaten sieht man solche auffallende Verbindungen gewählt.

Am auffallendsten und unangenehmsten sind die Zusammenstellungen von zwei reinen Farben, denen die dritte fehlt, wenn sie complementär seyn sollen, z. B. Gelb und Roth, oder Blau und Roth, oder Gelb und Blau. Diess sind reine Disharmonien. Eine Zusammenstellung von zwei Farben, wovon die eine den Uebergang zur andern bildet, ist weder harmonisch noch disharmonisch.

sondern gleichgültig, indifferent, z. B. Gelb und Grün, oder Roth und Orange, oder Violet und Blau. Eine Disharmonie kann aber durch das Dazwischentreten einer andern Farbe aufgehoben werden, welche zu einer der disharmonischen harmonisch, zur andern indifferent ist. Beispiele davon sind die Verbindungen Roth, Grün, Gelb, oder Gelb, Violet, Roth, oder Blau, Orange, Roth, oder Roth, Grün, Blau u. s. w. Die Disharmonie von Roth und Gelb löst sich auf durch das dazwischentretende Grün, welches harmonisch zu Roth und indifferent zu Gelb ist.

Die Maler machen von diesen physiologischen Grundsätzen bewusst oder unbewusst vielfachen Gebrauch, und der wohlthätige Eindruck der Farben in einer Malerei beruht in der geschickten Zusammenstellung der Harmonien und der Auflösung der Disharmonien. Oft ist diess Princip bis zur Beobachtung der farbigen Schatten angewandt worden. Die vorzugsweise Wahl trüber grauer Farben vermeidet den Irrthum der Disharmonien, verzichtet aber zugleich auf die ganze Macht der harmonischen Farbeneindrücke. Ausführlich hat über diesen Gegenstand Runge in seinem Werk über die Farben gehandelt, welches zu diesem Artikel vorzugsweise benutzt worden ist.

4. Von der gleichzeitigen Wirkung beider Augen.

Durch die gleichzeitige Wirkung beider Augen entstehen die Erscheinungen des Einfachsehens durch zwei Organe unter bestimmten Bedingungen, des Doppelsehens unter andern Bedingungen, und des Wettstreites der Gesichtsfelder beider Augen.

A. Vom Einfachsehen mit zwei Augen.

J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes. Leipz.* 1826. p. 71.

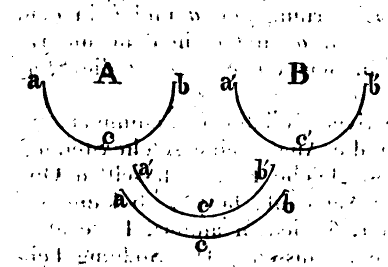
Das Einfachsehen bei zwei Organen glaubten Einige am leichtesten dadurch zu erklären, dass sie wie Gall annahmen, man sehe gar nicht mit beiden Augen zugleich, sondern nur entweder mit dem einen oder andern. Bei Menschen von sehr ungleicher Sehweite beider Augen kömmt ein solcher vorzugsweiser Gebrauch eines Auges wohl vor, aber bei der grossen Mehrheit der Menschen sind beide Augen beim Sehen desselben Objectes zugleich thätig, wie man sich aus den unter bestimmten Bedingungen entstehenden Doppelbildern leicht überzeugt. Von zwei hintereinander gehaltenen Fingern erscheint der erste doppelt, wenn der zweite fixirt und einfach gesehen wird, erscheint der zweite doppelt, wenn der erste fixirt und einfach gesehen wird, und das eine der Doppelbilder gehört dem einen, das andere dem andern Auge an.

Das Einfachsehen mit beiden Augen findet nur an bestimmten Stellen beider Netzhäute statt, andere Stellen der Netzhaut beider Augen sehen, wenn sie zugleich afficirt werden, immer doppelt. Es kömmt zunächst darauf an, diejenigen Stellen beider Netzhäute durch Erfahrung kennen zu lernen, welche die Eigen-

schaft haben, zugleich afficirt, ihr Bild an demselben Ort des Sehfeldes zu sehen, man kann sie der Kürze des Ausdrucks wegen identische nennen. Auf folgende Weise lernt man diese Stellen kennen.

Wenn man im Dunkeln bei geschlossenen Augen eine bestimmte Stelle des Auges und somit der Netzhaut an sich mit dem Finger drückt, so entsteht ein feuriger Kreis im Sehfelde, und der der Druckstelle entsprechende feurige Kreis wird aus Gründen die p. 358. angegeben sind, scheinbar an der entgegengesetzten Seite des Gesichtsfeldes sichtbar. Drückt man nun in dem einen Auge den obern Theil mit dem Finger, im andern Auge den untern Theil, so sieht man zwei feurige Kreise, einen obern und einen untern, der obere gehört der untern Druckstelle des einen Auges, der untere der obern Druckstelle des andern Auges an. Diese Stellen beider Augen sind also jedenfalls nicht identisch; denn sie sehen ihre Affectionen an ganz verschiedenen Orten. Drückt man die äussere Seite beider Augen, so entstehen auch zwei Figuren, wovon jede der entgegengesetzten Druckstelle angehört. Drückt man die innere Seite eines jeden Auges, so entstehen auch zwei feurige Kreise an den äussersten Seiten des Sehfeldes, der rechte gehört dem rechten, der linke dem linken Auge an. So viel ist also gewiss, dass weder der obere Theil der einen Netzhaut und der untere der andern, noch die äussern Seiten beider Netzhäute, noch die innern Seiten derselben zusammen identisch sind. Sie sehen ihre Affectionen immer an differenten Orten und die Distanz der Orte beträgt sogar die ganze Breite des Sehfeldes.

Identisch sind dagegen die äussere Seite des einen Auges und die innere des andern, oder in beistehenden Figuren a des Auges A ist identisch mit a' des Auges B, b des Auges A identisch mit b' des Auges B. Identisch ist ferner das Obere des einen Auges mit dem Obern des andern, das Untere des einen Auges mit dem Untern des andern. Wird z. B. der Druck des Fingers im Dunkeln an beiden geschlossenen Augen unten angebracht, so erscheint nur ein feuriger Kreis oben in der Mitte des Sehfeldes; wird der Druck in beiden Augen oben angebracht, so erscheint nur ein feuriger Kreis unten in der Mitte des Sehfeldes. Desgleichen drückt man im Auge A die äussere Seite a, im Auge B die innere Seite a', oder was dasselbe, in beiden Augen die linke Seite, so erscheint nur eine feurige Figur und sie liegt zur äussersten rechten. Drückt man hingegen b des einen, und b' des andern, oder die rechten Seiten beider Augen zugleich, so erscheint wieder nur ein Feuerkreis und zwar zur äussersten linken. Kurz man kann sich die Sphären beider Netzhäute gleichsam sich deckend denken, wie in der beistehenden Figur, so dass das Linke des einen mit dem Linken des andern, das Rechte des einen mit dem des andern, das



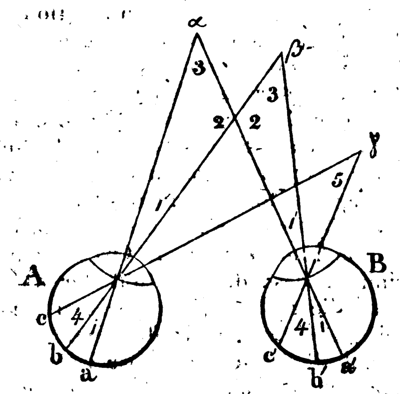
Obere beider Augen und das Untere beider Augen als identisch sich deckt. *a* deckt *a'*, *b* deckt *b'*, *c* deckt *c'*.

Die Puncte die zwischen *a* und *c* in einem Auge liegen, sind wieder identisch mit den entsprechenden zwischen *a'* und *c'* des andern, die Puncte zwischen *b* und *c* des einen identisch mit den entsprechenden des andern.. Denn geht man beim Drücken mit dem Finger von identischen Stellen beider Augen aus, z. B. von der linken Seite beider Augen und rückt gleichmässig in beiden Augen mit dem Drücken nach oben fort, so bleibt die Druckfigur immer einfach und so kann man im Kreise herum gehen und die Figur immer einfach sehen. Sobald man sich aber von diesen identischen Stellen beider Augen mit dem drückenden Finger entfernt, so erscheinen sogleich Doppelbilder.

Durch diese Versuche kömmt man schon vorläufig zu der Ueberzeugung, dass das, was in vollkommen übereinstimmenden Stellen liegt, auch identisch ist. Vollkommen übereinstimmend ist aber, was an dem Sphärenabschnitt der Retina, in demselben Meridian und demselben Parallelkreis liegt, die Mitte der Retina als Pol betrachtet, oder was von der Mitte der Retina in gleicher Richtung gleich weit entfernt ist. Alle übrigen Stellen beider Netzhäute sind different, sind sie afficirt, so ist es gerade so gut, als ob verschiedene Stellen in einem einzigen Auge afficirt wären, und die Doppelbilder des Auges *A* und Auges *B* sind um so weit von einander entfernt, als das Bild des Auges *A* von der Stelle des Auges *A* entfernt ist, mit der die Stelle des Doppelbildes im Auge *B* identisch ist. Oder um auf die schon gebrauchten Figuren p. 377. zurückzukommen, ist *a* in dem einen Auge afficirt, *b'* in dem andern, *a* aber mit *a'*, *b* mit *b'* identisch, so ist die Entfernung der Doppelbilder *a* und *b'* gerade so gross, als die Entfernung von *a* und *b* in dem einen Auge, oder die Entfernung von *a'* und *b'* in dem andern. Denn es ist gerade so gut als ob in dem einen Auge *A* die Stellen *a* und *b* afficirt wären.

Die Anwendung auf die objectiven Gesichtserscheinungen ergiebt sich nun von selbst. Haben die Augen eine solche Stellung gegen das leuchtende Object, dass gleiche Bilder desselben Objectes auf identische Theile beider Netzhäute fallen, so kann das Object nur einfach gesehen werden, in jedem andern Falle aber werden Doppelbilder gesehen werden müssen. Die Stellung beider Augen gegen das Object, wobei identische Stellen beider Augen von demselben Object ein Bild erhalten, ist nun die, wenn die Achsen beider Augen in einem Puncte des Objectes zusammentreffen, wie es immer bei der Fixation des Gegenstandes geschieht.

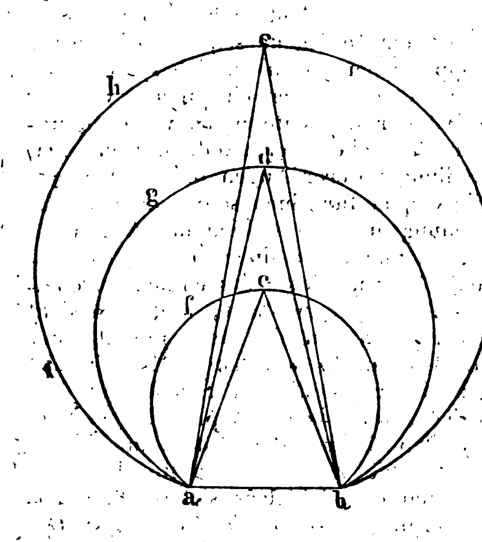
Die Augen *A* und *B* sollen mit ihren Achsen so gerichtet seyn, dass sie in α zusammentreffen, dann wird α einfach und an demselben Orte in der Mitte des Sehfeldes gesehen, weil *a* des einen und *a'* des andern Auges identisch sind. Aber auch noch andere zur Seite von α liegende Gegenstände z. B. β und γ erscheinen einfach. Liegt nämlich β so, dass sein Bild in beiden Augen gleich weit vom Mittelpuncte der Retina abfällt, nämlich in *b* des einen Auges und *b'* des andern, so erscheint



β auch einfach auf identischen Stellen beider Netzhäute. Desgleichen erscheint γ einfach, wenn die Distanz von c bis a im Auge A so gross ist, als die Distanz von c' bis a' im Auge B.

Eine Linie oder Ebene, welche durch den Convergenzpunct beider Augenachsen oder durch den Fixationspunct gelegt wird, nannten die Aelteren den Horopter und man stellte sich vor, dass auch die seitlichen Gegenstände des Horopters einfach erscheinen. Genauere Zergliederung zeigt indess, dass der Horopter weder eine gerade Linie noch eine ebene Fläche ist, sondern dass er eine kreisförmige Fläche bildet, wie ich in meiner Schrift *über die Physiologie des Gesichtssinnes* zeigte. Es fragt sich nämlich, wenn abc des einen Auges gleich $a'b'c'$ des andern Auges und also $\angle 1 = \angle 1$ des andern Auges, $\angle 4 = \angle 4$, ob die Puncte α, β, γ in einer geraden Linie liegen können und in welcher Linie sie liegen.

$ab = a'b'$ nach der Voraussetzung, $\angle 1$ im Auge $A = \angle 1$ im Auge B, folglich $\angle 1' = \angle 1'$. Da nun $\angle 2 = \angle 2$, so muss $\angle 3 = \angle 3$ seyn. Ebenso lässt sich beweisen, dass der Winkel bei γ nämlich $\angle 5 = \angle 3$ ist. Denn $bc = b'c'$, $\angle 4 = \angle 4$.



Wenn aber die Winkel 3, 3, 5 gleich sind, so ist $\alpha\beta\gamma$ keine gerade Linie, denn nur ein Kreis hat die Eigenschaft, dass die auf eine Sehne desselben gegen die Peripherie gerichteten Dreiecke gleiche Winkel an der Peripherie haben*).

Der Horopter ist daher immer ein Kreis, dessen Sehne die Entfernung beider Augen oder richtiger der Kreuzungspunct der Lichtstrahlen in beiden Augen ist, und welcher durch drei Puncte

*) Die Entdeckung der wahren Form des Horopters wurde mir von mehreren Physiologen zugeschrieben und ich glaubte selbst lange, dass ich die Sache zuerst eingesehen. In Gehler's *physik. Wörterbuch. IV. 2. Leipzig* 1828. *p.* 1472. sehe ich indess, dass Vieth schon die Nothwendigkeit eingesehen, dass der Horopter ein Kreis ist. Gilbert's *Annalen* 58. 233.

bestimmt wird, durch die beiden Augen und durch den Fixationspunct der Sehachsen. Ist *ab* die Entfernung beider Augen, so ist der Kreis *f* der Horopter für den Convergenzpunct der Augenachsen in *c*; Kreis *g* ist der Horopter für den Convergenzpunct *d*, Kreis *h* der Horopter für den Convergenzpunct *e* u. s. w.

Das Einfachsehen an den identischen Stellen der Netzhäute beider Augen an einem Orte muss in der Organisation der tieferen Theile oder Hirntheile des Sehapparates, und jedenfalls einen organischen Grund haben. Denn nie ist es eine Eigenschaft paariger Nerven, dass sie ihre Affectionen an denselben Ort setzen. Auch ist es höchst unwahrscheinlich, dass die Identität der entsprechenden Stellen der Netzhäute die Folge einer gewissen Angewöhnung oder Vorstellung sei. Die Congruenz der Netzhäute zu einem Sehfelde, welchen Grund sie haben mag, ist vielmehr der Grund aller fernern Vorstellungen, die aus dem Einfachsehen und Doppeltsehen entstehen.

Man hat gegen die constante Identität der entsprechenden Stellen beider Netzhäute eingewendet, dass Doppeltsehen im Schwindel, in der Trunkenheit, in nervösen Krankheiten entstehe, wo doch die harmonischen Bewegungen beider Augen nicht aufgehoben seien. Treviranus. Wenn Doppelbilder entstehen müssen, sobald ein Gegenstand nicht fixirt wird, oder wenn er nicht im Horopter liegt, so ist das Doppeltsehen in keinen Zuständen natürlicher und nothwendiger, als im Schwindel, in der Trunkenheit, in den Nervenfiebern. Es ist auch nicht der Fall, was Treviranus und Steinbuch und vor ihnen Andere behauptet haben, dass die Identität der Sehfelder eine erzogene sei; und dass wenn im Anfange des Schielens Doppeltsehen stattfinde, sich später nach Massgabe der verkehrten Stellung der Augen eine neue, von der früheren verschiedene Identität der Netzhäute bilde, wodurch ungeachtet des Schielens das Einfachsehen hergestellt werde. Das Schielen ist relativ. Die Stellung unserer Augen behufs der Convergenz der Augenachsen im Object für einen sehr nahen Gegenstand ist schielend, in Beziehung auf die Stellung der Augen für die Fixation eines fernen Gegenstandes. Bei einer krankhaft schielenden Stellung der Augen nach innen, müsste das einfach erscheinen, was im Horopter dieser Augenstellung liegt, und man sieht nicht ein, für welche Entfernung sich nun eine neue Identität der Netzhäute bilden sollte, da das nicht schielende Auge in alle Entfernungen sieht. Auch beweisen die an Schielenden gemachten Beobachtungen nicht, dass das ursprüngliche Verhältniss der identischen Stellen beider Netzhäute aufgehoben wird, sondern dass das schielende Auge in der Regel unthätig wird. Ueber die Ursachen des Schielens siehe meine angeführte Schrift p. 216. Vergl. Priestley *Geschichte der Optik. Leipz.* 1777. *p.* 468. I. N. Fischer *Theorie des Schielens veranlasst durch einen Aufsatz des Gr. Buffon. Ingolstadt* 1781. Sehr oft ist mit dem Schielen ein presbyopischer oder myopischer Zustand des einen Auges verbunden. Das Sehfeld des schielenden Auges ist, da es eine ganz andere Sehweite hat, nicht oder wenig störend für das Sehfeld des gesunden Auges. So ist auch

wenn man mit einem Auge durch das Mikroskop, mit dem andern daneben auf den Tisch sieht, das Sehfeld des letztern wenig störend, obgleich es an demselben Ort wie das erstere ist, weil bei der Accomodation des einen Auges für das Bild des Mikroskops das andere Auge dieser Accomodation folgt und daher den Tisch nicht deutlich sieht. Ein Schielender, den ich neulich untersuchte, sieht unter den gewöhnlichen p. 384. zu erörternden Bedingungen der Doppelbilder, von Gegenständen verschiedener Entfernung nie den einen doppelt, wenn er den andern mit einem Auge fixirt. Er unterscheidet also nur mit einem Auge, wenn beide offen sind.

Die Congruenz der identischen Stellen beider Netzhäute ist daher eine angeborne, und sie bleibt immer unverändert. Beide Augen sind gleichsam zwei Zweige mit einfacher Wurzel, und jedes Theilchen der einfachen Wurzel ist gleichsam in zwei Zweige für beide Augen gespalten.

Es sind mehrere Versuche zur Erklärung dieser wunderbaren Verkettung gemacht worden.

1) Da die Sehnervenwurzeln beider Seiten mit dem innern Theil ihrer Fasern sich kreuzen und zum entgegengesetzten Auge gehen, mit dem äussern Theil der Fasern aber an derselben Seite fortgehen, die linke Seite beider Augen also von derselben Sehnervenwurzel, die rechte Seite beider Augen von der andern Sehnervenwurzel versehen wird, so lag es nahe in der Vertheilung der Sehnervenwurzeln in beiden Augen die Ursache des Einfachsehens zu suchen. Diess ist die Theorie von Newton (*Quaest. opt.*) und Wollaston *Philos. Transact.* 1824. *Ann. de chim. phys.* 1824. *Sept.* Wollaston erklärte daraus das zuweilen vorkommende Halbsehen, wo nämlich die ganze eine Seite des Sehfeldes in beiden Augen bis zum Mittelpunct der Augen unthätig wird, und er vermuthet, dass der Hirntheil eines Sehnervens dabei unthäthig werde. Ueber Fälle von Halbsehen siehe Vater *oculi vitia duo rarissima, visus duplicatus et dimidiatus Viteb.* 1723. 4. *recus. in Hall. diss. med. pract.* T. 1. und *ann. de chim. phys.* 1824. *Sept.*

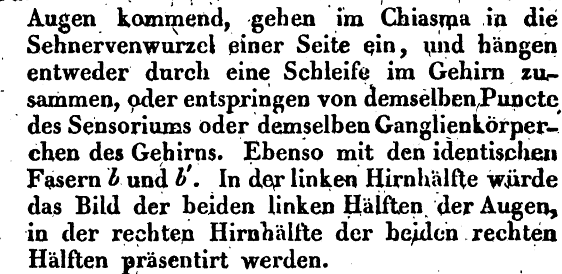
2) Ich zeigte in der Schrift über den Gesichtssinn p. 94, dass diese Theorie ungenügend sei, und dass, wenn eine solche Theorie die Erscheinungen vollständig erklären sollte, jede eine Faser einer Sehnervenwurzel sich im Chiasma nervorum opticorum in zwei Zweige, für die identischen Stellen beider Augen theilen müsse, wie in beistehender Figur. Eine Theorie welche auf das Verhältniss der Fasern gebaut ist, kann allein genügend seyn, aber es sind davon wieder mehrere Variationen möglich. Jene Ansicht von der Theilung jeder einzelnen Faser mag vielleicht auch Newton vorgeschwebt haben. Treviranus, Volkmann konnten keine Theilung der Fasern im Chiasma erkennen, und ich sehe sie ebenso wenig mit dem Compositum. Auch müsste, wenn die Theorie richtig wäre, die Sehnervenwurzel noch einmal so dünn, als der Augentheil des Sehnerven seyn. Man muss also bei dem einfachen ältern Factum stehen bleiben, dass die Sehnervenwurzel einer Seite sich am Chiasma in zwei Theile theilt, und dass der innere Theil



kreuzt, der äussere Theil an derselben Seite fortgeht. Siehe die Abbildungen dieses Verhaltens in meiner Schrift über den Gesichtssinn. Beim Pferd sah ich das Verhalten am deutlichsten. Der äussere obere Theil der Sehnervenwurzel geht deutlich auf derselben Seite weg, der untere innere geht auf die entgegengesetzte Seite.

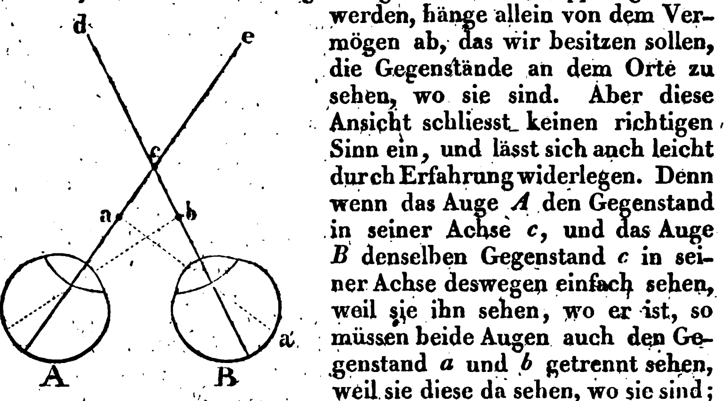
3) Eine andere Theorie ist die von Rohault (*Physic. p. 1. Cap.* 31.), derselbe setzt voraus, dass jeder Sehnerve gerade so viele Fasern enthalte, als der andere, und dass die entsprechenden Fasern beider Nerven in demselben Punct des Sensoriums verbunden seien. Bei dieser Theorie wird auf die theilweise Kreuzung der Fasern im Chiasma nicht Rücksicht genommen.

4) Eine vierte Theorie würde eine Modification oder Verbesserung der beiden vorhergehenden seyn, und den Bau des Chiasma zugleich berücksichtigen. Dic Fasern *a* und *a'* von identischen Stellen beider Augen kommend, gehen im Chiasma in die Sehnervenwurzel einer Seite ein, und hängen entweder durch eine Schleife im Gehirn zusammen, oder entspringen von demselben Puncte des Sensoriums oder demselben Ganglienkörperchen des Gehirns. Ebenso mit den identischen Fasern *b* und *b'*. In der linken Hirnhälfte würde das Bild der beiden linken Hälften der Augen, in der rechten Hirnhälfte der beiden rechten Hälften präsentirt werden.



5) Endlich liesse sich noch eine Theorie in der Art aufstellen, dass man eine commissurenartige Vereinigung von rechts und links zwischen den identischen Fasern beider Augen in der Mittellinie des Gehirns annähme.

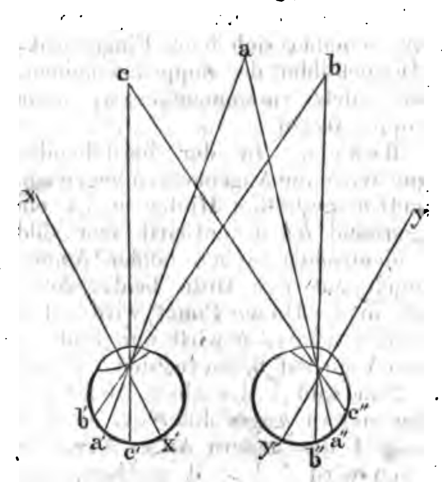
Porterfield (*a. a. O. II. p.* 293.) behauptet, die wahre Ursache, warum Objecte mit beiden Augen angesehen nicht doppelt gesehen werden, hänge allein von dem Vermögen ab, das wir besitzen sollen, die Gegenstände an dem Orte zu sehen, wo sie sind. Aber diese Ansicht schliesst keinen richtigen Sinn ein, und lässt sich auch leicht durch Erfahrung widerlegen. Denn wenn das Auge *A* den Gegenstand in seiner Achse *c*, und das Auge *B* denselben Gegenstand *c* in seiner Achse deswegen einfach sehen, weil sie ihn sehen, wo er ist, so müssen beide Augen auch den Gegenstand *a* und *b* getrennt sehen, weil sie diese da sehen, wo sie sind; allein diese Gegenstände erscheinen, wenn sie in den Achsen lie-



gen, nicht getrennt, sondern einfach, an demselben Orte, wo *c*, weil ihr Bild in beiden Augen auf dieselbe mittlere Stelle der Netzhaut fällt. Es erscheint zwar von *a* ein Doppelbild im Auge *B* nämlich im Puncte a', und von *b* ein Doppelbild im Auge *A* nämlich im Puncte b', aber die Bilder der Puncte *a* und *b*, welche auf die Mitte der Netzhaut beider Augen fallen, werden nicht gesehen, wo sie sind, sondern vielmehr in einen Ort vereinigt. Auch von *c* kann man nicht sagen, dass es einfach gesehen werde, weil man es sieht, wo es ist. Etwas sehen, wo es ist, kann doch bloss heissen, es in der Richtung sehen, welche es zum Auge hat. *c* wird aber in der Richtung *ce* vom Auge *A*, in der Richtung *cd* vom Auge *B* gesehen, es würde also gerade nach dieser Theorie doppelt gesehen werden müssen, während es doch aus vorher entwickelten Gründen einfach gesehen wird.

Der Grund des Einfachsehens auf identischen Stellen der Netzhäute muss also ein organischer sein. Mehrere Theorien sind im Stande diess aus einer supponirten organischen Structur zu erklären, aber von keiner lässt sich beweisen, dass sie die wirkliche ist und von mehreren lässt sich beweisen, dass sie jedenfalls nicht die wirklichen seyn können. Die Beschaffenheit, welche diese Erklärung haben muss, wird aber aus den vorhererwähnten Theorien hinreichend klar.

Bei den Säugethieren kann das Verhältniss der identischen und differenten Theile beider Netzhäute nicht dasselbe seyn, als beim Menschen, da ihre Augen meist divergiren und die Achsen beider Augen sich nie in einem Puncte eines Gegenstandes vereinigen. Betrachten diese Thiere einen Gegenstand, der in der Richtung der Achse des Körpers vor ihnen liegt, so fällt das Bild desselben in beiden Augen auf den äussern Theil des Auges. Z. B. das Bild von *a* auf a' und a'' in beiden Augen, diese Stellen müssen identische seyn; in der That bewegt ein Hund seine Augen, je nachdem ein, in der Achse seines Körpers vor ihm liegender Gegenstand, nahe oder ferne ist, so wie wir es thun. Aber die Sehachsen sind nicht wie bei uns eins mit den Augenachsen, es sind nicht die Linien xx' und yy', sondern die Linien aa' und aa''. Soll das Sehen des Hundes bei vor ihm liegenden, mit beiden Augen sichtbaren Gegenständen klar seyn, und sollen keine Doppelbilder entstehen, so muss b' in einem und b'' im andern Auge wieder identisch seyn, denn auf diese Puncte fällt das Bild von *b*. Alle Theile des einen Auges, welche nur Licht von seitlichen Gegen-



ständen erhalten, dürfen dagegen keine correspondirenden identischen Stellen im andern Auge haben. Denn sonst würde ein rechts und ein links liegender Gegenstand an demselben subjectiven Ort gesehen. Es giebt daher wahrscheinlich in den Augen der Thiere zum Theil identische, zum Theil aber ganz differente Stellen, ohne entsprechende Stellen im andern Auge. Lässt man bloss diejenigen Stellen beider Sehfelde eines Thieres sich decken, welche denselben Gegenstand sehen, so erhält man aus der vorhergehenden Figur die gegenwärtige.

b a c
b a c

B. Vom Doppeltsehen mit zwei Augen.

J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes p.* 167.

In allen Fällen, wenn ein Gegenstand nicht im Horopter liegt, fällt sein Bild in beiden Augen auf differente Stellen, und er wird deswegen doppelt gesehen. Die Entfernung der Doppelbilder ist jedesmal eine ganz bestimmte, ist 6 die Stelle des Bildes in einem Auge, 4 die Stelle des Bildes im andern Auge und ist 6 des ersten Auges mit 6 des zweiten identisch, so ist die Entfernung der Doppelbilder jedesmal die Distanz von 4 und 6, d. h. wie sich die Distanz von 4 und 6 zum ganzen Durchmesser der Ebene einer Netzhaut verhält, ebenso verhält sich die Distanz der Doppelbilder zum ganzen Sehfeld. Die einfachsten Versuche zur Beobachtung der Doppelbilder sind diese. Man halte zwei Finger der Hände in gerader Linie vor die Augen, den ersten ganz nahe vor die Augen, den andern weit davon entfernt. Fixirt man den ersten, indem man die Augenachsen darauf richtet, so ist der zweite doppelt, fixirt man den zweiten, so erscheint der erste doppelt. Je grösser die Distanz beider Finger ist, um so grösser wird die Entfernung der Doppelbilder, je näher sich beide Finger rükken, um so näher rücken die Doppelbilder des doppelerscheinenden Fingers aneinander, bis sie zuletzt zusammenfliessen, wenn beide Finger in denselben Horopter treten.

b
a
c
10
9
2
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
3
4
5
6
7
8

Beweis. In der beistehenden Figur seien die Augenachsen gegen den Punct *a* gestellt. Hinter *a* ist ein Gegenstand *b*, *a* entwirft sein Bild auf identischen Stellen beider Augen, nämlich auf der Mitte beider Netzhäute in 5. Dieser Punct wird daher einfach gesehen. *b* wirft sein Bild im linken Auge auf 6, im rechten Auge auf 4. Nun sind 4 des einen Auges und 6 des andern Auges different, denn 4 ist mit 4 des andern Auges identisch, folglich wird *b* doppelt gesehen, und zwar verhält sich die Distanz der Doppelbilder zum ganzen Sehfeld, wie die Distanz von 4 und 6 zur Distanz 1 — 10.

A
B
4
6
B A

Denkt man sich die Flächen beider Netzhäute auf einander gelegt, wie in beistehender Figur, so wird diess noch deutlicher. A sei die Retina des linken Auges der vorigen Figur, B die Retina des rechten Auges der vorigen Figur, 4 ist die Lage des Doppelbildes im rechten Auge, 6 ist die Lage des Doppelbildes im linken Auge. Da beide in der Figur sich deckenden Sehfelder in der Natur eines und dasselbe sind, so kann man diese Figur auch in die beistehende umändern, wobei zu merken ist, dass das Doppelbild 6 dem linken Auge, das Doppelbild 4 dem rechten Auge angehört.

Kreuzen sich die Sehachsen vor dem Gegenstande *c* in *a*, so wird *c* auch doppelt gesehen. Denn *c* wirft sein Licht im linken Auge auf 4, im rechten Auge auf 6; 4 ist nicht identisch mit 6, sondern 4 mit 4, und 6 mit 6 identisch. Die Distanz beider Doppelbilder ist wieder 4 — 5 im linken Auge + Distanz 5 — 6 im rechten Auge, oder beide Augen als eines angesehen 4 — 6, d. h. die Distanz 4 — 6 verhält sich zur Distanz 1 — 10, wie die Distanz der Doppelbilder von *c* zum ganzen Sehfeld.

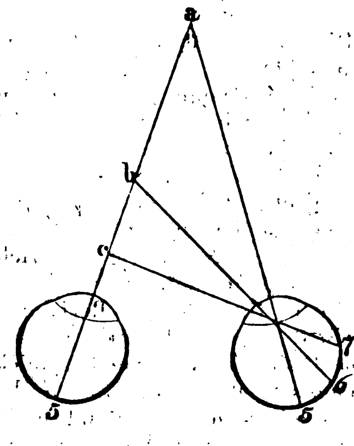
Was die Lage der Doppelbilder in Beziehung zu den Augen betrifft, welchen sie angehören, so gehört beim Kreuzen der Sehachsen zwischen Object und Auge, das linke Doppelbild dem linken Auge, das rechte Doppelbild dem rechten Auge an. Kreuzen sich hingegen die Augenachsen vor dem Objecte, so liegt das Doppelbild des rechten Auges auf der entgegengesetzten linken Seite, das Doppelbild des linken Auges auf der rechten Seite, wie man sich leicht durch Schliessen eines der Augen überzeugt.

Diese Lage der Doppelbilder ist in theoretischer Beziehung von Wichtigkeit. Die Lage der Bilder im Verhältniss zu den Augen, in welchen sie existiren, lässt sich auf den ersten Blick am besten begreifen nach der Theorie, dass beim Sehen die Gegenstände in der Richtung, in welcher sie liegen und nicht nach der Lage der Netzhauttheilchen gesehen werden. So erscheint beim Kreuzen der Augenachsen vor dem Object *a* der Gegenstand *b* doppelt, und das Doppelbild liegt für die Achse *a5* des linken Auges nach links, für die Achse des rechten Auges nach rechts, und so ist es auch, wenn man den Versuch anstellt. Es könnten daher die Erscheinungen beim Doppeltsehen als ein Beweis für die Wiederherstellung oder Correction des Verkehrtsehens, entweder durch die Richtung des Sehens nach aussen, oder durch den Lauf der Sehnervenfasern im Gehirn angeführt werden. Indessen lassen sich die Erscheinnugen auch nach der entgegengesetzten Theorie erklären, dass nämlich die Bilder oder Netzhauttheilchen da gesehen werden, wo sie sind und nicht wo die Gegenstände sind.

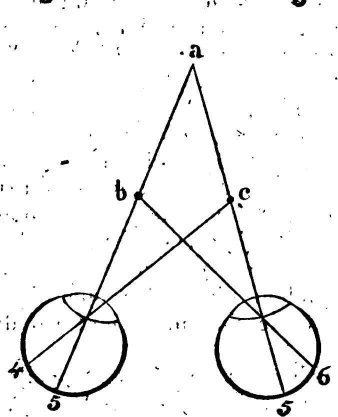
Bei dem vorhererwähnten Versuch wird das linke Doppelbild auf der linken Seite der Mittelachse gesehen, sein Gegenstand liegt also nach optischen Principien auf der rechten Seite. In der Gesichtsempfindung der Netzhaut selbst giebt es kein rechtes

und linkes Auge, beide sind identisch, insofern aber von unserm Körper Licht auf die Netzhaut fällt, und es also auch ein Bild unsers Körpers auf der Netzhaut giebt, so ist auch hier nach optischen Principien der Gegenstand auf der entgegengesetzten Seite des Bildes, also das sichtbare Rechts an unserm Körper eigentlich links, das sichtbare Links eigentlich rechts. Man kann daher die Thatsache des Versuchs, dass bei Kreuzung der Sehachsen hinter dem Objecte das linke Doppelbild verschwindet, wenn das linke Auge geschlossen wird, auch also ausdrücken. Wenn wir das Auge der scheinbar linken, oder wahren rechten Seite schliessen, so verschwindet das linke Doppelbild und diess beweist auch die Construction der Figur, denn das Doppelbild von *b* liegt im wahren rechten Auge *B* nach links in 4.

Die beschriebenen Versuche über die Doppelbilder lassen sich vielfach variiren. Aber alle diese Variationen sind von derselben Grundbedingung abhängig, dass die Bilder in beiden Augen auf nicht identische Theile fallen.



Sind die Achsen der Augen z. B. auf den Punct *a* gerichtet, so erscheinen alle in der Achse *abc* liegenden Puncte doppelt, denn ihre Bilder fallen in dem einen Auge auf die Mitte der Netzhaut bei 5, in dem andern Auge aber auf 6, 7, 8, 9 u. s. w.



Beide Augenachsen seien ferner auf *a* Fig. 2. gerichtet. Die Puncte *b* und *c* stellen Nadeln vor, die in der Richtung beider Augenachsen aufgestellt sind. Dann werden statt zwei Doppelbildern von *b*, und zwei Doppelbildern von *c*, oder statt vier Doppelbildern nur drei gesehen; denn *b* wird im linken Auge in 5, *c* im rechten Auge in 5 gesehen. 5 und 5 sind identisch, folglich sehen beide Augen diese Bilder an demselben Ort. *c* erscheint im linken Auge bei 4, im rechten Auge bei 6, folglich sieht man unter diesen Umständen drei Nadeln in der Ordnung und Distanz 4, 5, 6.

Dass die Doppelbilder immer undeutlich sind, ergiebt sich als nothwendig aus den früher geführten Untersuchungen. Denn sie liegen meist auf seitlichen Theilen des Sehfeldes und auch dann, wenn eines der Bilder in der Achse gesehen wird, so wird es nicht mit dem gehörigen Refractionszu-

stande gesehen, indem dieser laut früher berichteten Thatsachen sich regelmässig nach dem getroffenen Horopter ändert.

Die Erscheinungen des Doppeltsehens sind so nothwendig in der Organisation beider Augen begründet und hängen mit den Ursachen des Einfachsehens so innig zusammen, dass sie beim gewöhnlichen Gebrauch der Augen fort und fort eintreten müssen. So ist es auch. Aber wir beachten sie gewöhnlich nicht, weil die Doppelbilder undeutlich sind, und weil wir eben gewöhnlich die Augenachsen auf einen Gegenstand richtend ihn einfach sehen. In allen Fällen aber, wo zwei Gegenstände verschiedener Entfernungen zugleich gesehen werden, die nicht in demselben Horopter liegen, muss nothwendig der eine oder der andere doppelt erscheinen. Wie wenn wir durch ein Fenster auf einen Thurm sehen, wo entweder die Fensterrahmen oder der Thurm doppelt ist, je nachdem der letztere oder erstere fixirt werden. In allen Fällen, wo die Fixation der Augen auf die bestimmte Entfernung des Gegenstandes, oder das Treffen des Horopters aus innern Ursachen krankhaft verändert ist, müssen auch Doppelbilder eintreten, z. B. bei Betrunkenen, bei Nervenfieberkranken, in den Anfällen der Nervenkrankheiten, vor dem Einschlafen, beim Schielen. Dieses Doppeltsehen hängt in keiner Weise von einer Veränderung in den Centraltheilen des Nervensystems oder in der Netzhaut ab, sondern ist eine einfache Folge vom Verlust des Vermögens einen Gegenstand zu fixiren. Vor dem Einschlafen und beim Einschlafen werden unsere Augen jedesmal stark nach innen gewendet, daher erscheinen alle auch ziemlich nahen Gegenstände doppelt. Die stärkere Convergenz der Augen nach innen erkennt man an der Lage der Doppelbilder, wovon das linke dem linken Auge angehört. Auch bei dem Betrunkenen stehen die Augen nach innen. Vom Doppeltsehen mit zwei Augen muss man das Doppeltsehen oder Mehrfachsehen mit einem Auge unterscheiden. Die mehrsten Menschen sehen mehrere Bilder vom Monde selbst mit einem Auge, diese Bilder sind durch einander geschoben und decken sich nur zum Theil. Jedes hat seine besonderen Ränder. Bei mir wie bei vielen kömmt diese Erscheinung nur beim Sehen in so grossen Entfernungen vor. Bei anderen tritt die Erscheinung selbst bei näheren Gegenständen ein. Siehe Steifensand in Graefe und Walther's *Journ.* 1835., Muell. *Archiv* 1836. *CXLVIII.* Die Ursachen dieser Erscheinungen liegen im optischen Bau des Auges, wahrscheinlich in den verschiedenen Faserfeldern der Crystalllinse, aus welchen jede Schicht zusammengesetzt ist.

C. Von dem Wettstreit der Sehfelder beider Augen.

Eine der interessantesten Erscheinungen beim Sehen mit zwei Augen ist die, dass verschiedene Farbeneindrücke beider Augen auf identischen Stellen sich nicht zu einem gemischten Eindruck ausgleichen, sondern dass theilweise, oder ganz das eine Sehfeld mit dem einen Farbeneindruck vorwiegt, und der Zustand des andern Auges nur an andern Stellen des Sehfeldes zum Vorschein kömmt. Gelegenheit zur Beobachtung dieser Erscheinungen giebt

das Betrachten einer weissen Papierfläche durch zwei dicht vor die Augen gehaltene verschiedenfarbige Gläser, z. B. durch ein blaues und gelbes Glas. Siehe meine Schrift *Physiol. des Gesichtssinnes* p. 79., vergl. Muell. *Archiv* 1836. *CXLIV.* Volkmann und Heermann *a. a. O.* Statt dass man unter jenen Umständen das Papier grün sehen sollte, sieht man es theils blau, theils gelb. Zuweilen wiegt die blaue Farbe vor, zuweilen die gelbe, zuweilen wird eine blaue Wolke oder blaue Flecken auf gelbem Grunde, zuweilen das umgekehrte gesehen. Jetzt absorbirt das Blaue das Gelbe, jetzt das Gelbe das Blaue. Die Schwierigkeit der Nichtvermischung der verschiedenen Eindrücke an identischen Stellen beider Netzhäute erkannte ich auch bei der durch Schielen hervorgebrachten künstlichen Deckung zweier verschiedenfarbiger Doppelbilder. Eine Ausgleichung beiderlei Eindrücke, wie sie Huschke sah, nahm ich bei Doppelbildern als möglich, aber schwierig wahr. Heermann und Volkmann haben die Erscheinungen im Wesentlichen ganz so wie ich gesehen.

Werden die Versuche sehr lange mit farbigen Gläsern fortgesetzt, so dass man sehr lange einen weissen Papierbogen durch zwei dicht vor die Augen gehaltene farbige Gläser ansieht, so gleichen sich beide Eindrücke mehr aus (Völckers in Muell. *Archiv* 1838. 60.), wozu Anfangs nicht die geringste Neigung ist; aber auch jetzt blitzt von Zeit zu Zeit die eine der Farben das Uebergewicht erhaltend hervor, oder tritt fleckenartig auf. Die Vermischung hat kein weiteres physiologisches Interesse, wohl aber ist der Wettstreit beider Sehfelder, und das theilweise oder gänzliche Verdrängen der einen Farbe durch die andere von dem grössten Interesse, und zeigt uns auf das Deutlichste, in einem leicht zu beobachtenden Phänomen, die Art der gleichzeitigen Thätigkeit beider Augen. Denn dass sich beide Augen auch bei nicht verschiedenfarbigen Eindrücken in dieser Weise verhalten, ist schon aus dem Versuch zu schliessen und ergiebt sich auch aus anderen Thatsachen.

Das bald fleckenweise Hervortreten der einen Farbe auf der andern, bald gänzliche momentane Verdrängen der einen durch die andere und die schwierig zu Stande kommende Vermischung beider beweisen: 1, gleichzeitige Thätigkeit beider Augen in gewissen Zeitmomenten, denn Flecken, Wolken der einen Farbe werden auf der andern gesehen. 2. Gänzliches oder fast gänzliches Erlöschen des Eindrucks des einen Auges und Verwalten des andern auf Zeitmomente. 3. Ausgleichung der Eindrücke beider Augen auf Zeitmomente. Da die Zustände beständig wechseln, so zeigen sie uns die Actionen beider Augen Phänomene des gestörten Gleichgewichtes, wie das Schwanken des Wagebalkens. Sehr schwer tritt die Ruhe oder das Gleichgewicht der Actionen ein, obgleich es möglich ist. Das Gleichgewicht wird aber theils durch innere, uns unbekannte Einflüsse gestört, theils wahrscheinlich dadurch, dass sich die Aufmerksamkeit dem einen oder andern Auge zuwendet. Die Erscheinungen des Wettstreits, um welche es sich allein hier handelt, sind übrigens bei vollkommen gleicher Sehkraft beider Augen deutlich und lebhaft, wie

bei mir. Das fleckige oder wolkige Auftreten einer Farbe statt der verdrängten andern, während an andern Stellen diese vorherrscht, zeigt uns ferner, wie eine Ungleichheit der Action auch in den einzelnen Theilen der Netzhaut möglich ist, wie denn überhaupt die Erscheinung zur Beobachtung der inneren Zustände der Netzhaut von der grössten Wichtigkeit ist.

Die Störung des Gleichgewichtes in der gleichzeitigen Thätigkeit der Gesichtsfelder tritt auch sonst häufig auf. Zuweilen verschwindet plötzlich eines der Doppelbilder beim Doppeltsehen. Sind beide Augen von ungleicher Sehweite, so ist bald das eine, bald das andere vorherrschend, und verdrängt vollends das Bild des andern Auges. Das herrschende Auge ist dasjenige, in dessen Sehweite ein Gegenstand gehört. Diesem wendet sich nun die Aufmerksamkeit zu. Zuweilen schwebt dann das Bild des undeutlich sehenden Auges noch nebenher, geht aber leicht ganz der Aufmerksamkeit verloren. So ist es auch bei Schielenden; das schielende Auge hat meist eine vom gesunden Auge ganz abweichende Sehweite, sein Bild ist undeutlich, wenn das andere Auge deutlich ist, es wird von der Aufmerksamkeit vernachlässigt. Das gänzliche Verschwinden desselben begreift man aus den Erscheinungen, die ich an den farbigen Gläsern erörtert habe. Diess ist sogar sehr oft eine Veranlassung zum Schielen, denn nun wird das unbrauchbare Auge nicht bei der Fixation der Gegenstände richtig angewandt und geräth in jeder Hinsicht ausser Gebrauch.

Auch beim Sehen durch Vergrösserungsgläser mit einem Auge kann man die Isolation des Sensoriums auf das Sehfeld eines Auges beobachten. Denn oft sieht das durchs Mikroskop sehende Auge allein, oder unterscheidet allein, und das andere Auge, nebenher sehend, erkennt nichts, wenigstens sein Bild nicht auf der Stelle, wo das mikroskopische Sehfeld des andern ist. Zuweilen hingegen tritt auch die Thätigkeit dieses Auges auf, und sein Bild schwebt gleichsam auf dem mikroskopischen Bilde, die Beobachtung störend.

5. Von den subjectiven Gesichtserscheinungen.

Purkinje *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. I. Prag* 1823. *II. Berlin* 1825.

Ziehen wir die Phänomene der Thätigkeit der Netzhaut, bei welchen das äussere Licht noch mitspielt, wie bei den Nachbildern, bei der Irradiation, bei dem Doppeltsehen ab, so bleiben noch viele subjective Gesichtserscheinungen übrig, welche uns Beispiele der Thätigkeit der Retina liefern, die durch Ursachen hervorgebracht wird, welche von dem äussern Licht ganz verschieden sind. Mit diesen Erscheinungen hat uns die angeführte Schrift von Purkinje vorzüglich bekannt gemacht, die auffallendsten hierher gehörigen Phänomene sind:

I. Die Druckfiguren.

So nannte Purkinje die durch Druck mit den Fingern am Auge hervorgebrachten Lichterscheinungen. Sie sind theils ring-

förmig, theils strahlig, und zuweilen regelmässig in quadratische Felderchen getheilt, so dass sie Purkinje mit den Klang-Figuren verglich. Wird ein mit Wasser bedeckter gläserner Teller mit dem Fidelbogen gestrichen, so theilt sich die Scheibe nicht bloss in schwingende und ruhende Stellen, sondern das Wasser zeigt auch auf den bewegten Theilen des Glases die regelmässigste Eintheilung in rhombische Figuren oder stehende Wellen. Die Figur im Auge erinnert an die Kreuzung von Wellen.

II. Die schon oben p. 350. beschriebene Aderfigur erscheint zuweilen leuchtend.

Purkinje sah sie so zuweilen beim Druck, besonders am Morgen, und ich sah sie öfter leuchtend im dunkeln Sehfelde, wenn ich nach dem Ersteigen einer Treppe mich plötzlich in einem dunkeln Raum befand, oder auch beim plötzlichen Untertauchen des Kopfes im Fluss. Die leuchtende Erscheinung wird offenbar durch den Druck der mit Blut gefüllten Gefässe auf die Retina hervorgebracht.

III. Lichterscheinung des Pulses.

Bei Congestionen nach dem Kopfe bemerkt man leicht eine mit dem Pulse isochronische Veränderung der Helligkeit des Sehfeldes, ein pulsirendes Hüpfen im Sehfelde. Diese Erscheinung ist sehr leicht zu beobachten. Einigemal sah ich eine ähnliche, aber mit dem Athmen und der sogenannten Hirnbewegung isochronische Veränderung des Sehfeldes oder ein rhythmisches Hervortreten eines kleinen lichten Fleckes in der Mitte des Sehfeldes im Dunkeln; aber die Erscheinung lässt sich nicht absichtlich hervorrufen und ist mir nur selten vorgekommen.

IV. Sichtbare Blutbewegung.

Einen allgemeinen Ausdruck der Blutbewegung sieht man bei vielen Gelegenheiten. Besonders beim Betrachten hell, aber keineswegs blendend erleuchteter Flächen, z. B. beim Betrachten des Himmels oder bei längerm unverwandtem Ansehen einer Fläche von Schnee oder Papier. Die Erscheinung besteht in einem undeutlichen Wirrwar, in einem Durcheinanderfahren, Vorüberfahren, Springen von Puncten, oder in einer unregelmässigen Bewegung wie von Dämpfen. Die Erscheinung ist so unbestimmt, dass sich die Richtung der Bewegung nicht angeben lässt. Sie rührt offenbar von der Blutbewegung her. Hieher ist auch die viel bestimmtere Erscheinung zu rechnen, welche man zuweilen bei Congestionen nach dem Kopfe oder Vollblütigkeit sieht, wenn man sich gebückt hat und plötzlich aufrichtet. Man sieht ein Springen und Fahren, wie von dunkeln geschwänzten Körpern in den mannigfaltigsten Richtungen. Das Analogon davon in den Gefühlsnerven ist das Ameisenlaufen.

V. Erscheinen leuchtender Kreise im dunkeln Gesichtsfelde bei plötzlicher Seitenbewegung der Augen.

Diese Erscheinung tritt jedesmal bei plötzlicher Wendung der Augen im Dunkeln ein. Die Affection muss an nicht identischen Stellen beider Netzhäute (Gegend der Eintrittsstellen der Sehnerven?) stattfinden, denn die Erscheinung wird nicht an demselben Orte, sondern doppelt gesehen.

VI. Electrische Figuren im Auge.

Sie sind von Ritter, Purkinje und Hjort untersucht. Liegt das Auge innerhalb eines galvanischen Stromes, indem z. B. beide Pole an der Conjunctiva beider Augenlieder applicirt werden, so wird beim Schliessen oder Oeffnen der Kette, ein blitzartiger Schein gesehen. Die Erscheinung erfolgt auch, wenn das Auge nicht direct in dem Strome zwischen beiden Polen liegt, nämlich durch Ableitung eines Theils der Electricität, z. B. wenn die Pole das untere Augenlied und die Schleimhaut des Mundes berühren. Schon ein einfaches Plattenpaar von Kupfer und Zink reicht am dunkeln Ort zur Erregung des blitzartigen Scheines hin. Lebhaftere Phänomene erhält man durch eine kleine Säule. Dann zeigt sich nach Purkinje's Versuchen beim Zinkpole der Schein als gelblicher Dunst, beim Kupferpol hell violet. Unter bestimmten Bedingungen, welche Purkinje angegeben, treten noch specielle örtliche Erscheinungen im Sehfelde, der Eintrittsstelle des Sehnerven und dem Achsenpunct der Retina entsprechend auf.

VII. Spontane Lichterscheinung im dunkeln Sehfelde.

Beobachtet man das Sehfeld der Augen bei geschlossenen Augen, so sieht man nicht bloss zuweilen einen gewissen Grad von Erleuchtung desselben, sondern auch zuweilen einen stärker sich entwickelnden Schimmer, ja zuweilen eine Ausbreitung des Schimmers in Form von Kreiswellen, welche sich von der Mitte nach der Peripherie entwickeln und verschwinden. Zuweilen erscheint der Schimmer mehr wolkenartig, nebelig, fleckig und selten wiederholt er sich bei mir mit einem gewissen Rhythmus. An diese noch mehr unbestimmte spontane Lichterscheinung im Auge schliessen sich die beim Einschlafen und vor dem Einschlafen sichtbaren Erscheinungen von bestimmterer Gestaltung an, indem aus den nebelartigen Gestalten, dem Traumchaos von Gruithuisen, unter Mitwirkung des Vorstellungsvermögens, bestimmtere Gestalten sich isoliren und verwandeln.

Eine diesen Erscheinungen entgegengesetzte ist das zuweilen bei nervenschwachen Personen vorkommende Vergehen des Gesichtes unter Erscheinung von Nebel, farbigem Rauch u. dgl., eine vorübergehende Ermüdung der Nervenhaut. Auch der Gesunde kann die Erscheinung künstlich herbeiführen durch sehr lange anhaltendes Betrachten eines weissen oder farbigen Feldes.

VIII. Flimmern vor den Augen nach dem Gebrauche der Narcotica.

Diese Erscheinung tritt am leichtesten beim Gebrauch der Digitalis ein. Purkinje hat darüber Beobachtungen an sich selbst angestellt. Bei stärkerem Grade der Einwirkung treten auch bestimmte Gestalten auf, Purkinje's sogenannte Flimmerrosen.

IX. Scheinbewegungen der Gegenstände nach häufigem Drehen des Körpers.

Diese Erscheinung ist schon oben gelegentlich erläutert. Man muss sie in Hinsicht ihrer Ursachen, die auch angegeben sind, wohl unterscheiden, von den Scheinbewegungen, die man sieht, wenn man vorher wahre Bewegungen beobachtet hat, Scheinbewegungen, welche von dem successiven Verschwinden der Nach-

bilder entstehen. Die Scheinbewegung nach dem Drehen des Körpers findet auch statt, wenn man sich bei geschlossenen Augen gedreht hat.

X. Mangel des Farbensinnes.

Es giebt viele Menschen, welche die Farben aus einer angebornen Disposition der Retina schlecht unterscheiden. Eine Untersuchung des jüngern SEEBECK POGGEND. *Ann.* 42. lieferte folgende Resultate aus zahlreichen Beobachtungen. Ausser solchen Personen, welche in der Bestimmung der Farben Schwierigkeit finden, ohne jedoch ungleiche Farben für gleich zu halten, kommen nicht selten solche vor, die bald in höherm, bald in geringerm Masse, gewiss ganz ungleiche Farben mit einander verwechseln. Aber nicht bloss in Beziehung auf die Stärke, sondern auch in Beziehung auf die Art dieser Verwechselungen sind Unterschiede bemerkbar. In der letzten Beziehung zerfallen die von SEEBECK untersuchten Individuen, kleinere Verschiedenheiten nicht gerechnet, in zwei Klassen. Zur ersten Klasse gehören die Fälle, welche zwar in Beziehung auf den Grad der Verwechselungen ziemlich beträchtliche, aber in Beziehung auf die Art derselben nur unbedeutende Verschiedenheiten zeigen. Folgende Farben werden bei diesen leicht verwechselt:

Helles Orange und reines Gelb,
Gesättigtes Orange, helles Gelblich- oder Bräunlichgrün und Gelbbraun,
Reines Hellgrün, Graubraun und Fleischfarb,
Rosenroth, Grün (mehr bläulich als gelblich) und Grau.
Carmoisin, Dunkelgrün und Haarbraun,
Bläulich Grün und unreines Violet,
Lila und Blaugrau,
Himmelblau, Graublau und Graulila.

Diese Menschen haben einen sehr mangelhaften Sinn für den specifischen Eindruck aller Farben überhaupt, am unvollkommensten ist er für das Roth, und für das complementäre Grün, indem sie diese beiden Farben vom Grau wenig oder gar nicht unterscheiden; nächstdem für das Blau, das sie vom Grau ziemlich unvollkommen unterscheiden; am meisten pflegt ihr Sinn für das Eigenthümliche des Gelb empfindlich zu seyn, doch ist ihnen auch diese Farbe viel weniger vom Farblosen verschieden, als diess beim normalen Auge der Fall ist.

Die zur zweiten Klasse gehörigen erkennen Gelb noch am besten, sie unterscheiden Roth etwas besser, Blau etwas weniger vom Farblosen, vorzüglich aber Roth vom Blau viel unvollkommener, als die erste Klasse. Die von ihnen verwechselten Farben sind folgende:

Hell Orange, Grünlichgelb, Bräunlichgelb und reines Gelb,
Lebhaft Orange, Gelbbraun und Grasgrün;
Ziegelroth, Rostbraun und dunkel Olivengrün,
Zinnoberroth und Dunkelbraun,
Dunkel Carminroth und schwärzlich Blaugrün,
Fleischroth, Graubraun und Bläulichgrün,
Mattes Bläulichgrün und Grau (etwas bräunlich),

Unreines Rosa (etwas gelblich), und reines Grau,
Rosenroth, Lila, Himmelblau und Grau (etwas ins Lila fallend),
Carmoisin und Violet,
Dunkelviolet und Dunkelblau.

Sie haben, was bei der ersten Klasse nicht der Fall ist, nur eine geschwächte Empfindung von den wenigst brechbaren Strahlen.

Von den subjectiven Gesichtserscheinungen müssen ausgeschlossen werden die Bilder von Gegenständen, die im Innern des Auges selbst sich befinden und auf die Retina einen Schatten werfen. Hieher gehören fadenartige, verschlungene Figuren, in denen Reihen von Kügelchen enthalten zu seyn scheinen. Sie sind beweglich, sowohl in der relativen Lage der einzelnen Theile der Figur, als in Hinsicht ihrer Lage im Sehfelde. Durch eine kräftige Bewegung der Augen kann man sie etwas zur Seite oder in die Höhe bewegen, aber sie kommen bald wieder, und aufgestiegen senken sie sich wieder allmählig. Bei manchen Menschen sind viele solcher Figuren im Sehfelde, obgleich nur diejenigen im mittlern Theile des Sehfeldes deutlicher gesehen werden. Bei mikroskopischen Beobachtungen liegen sie oft vor dem untersuchten Object, und stören einigermassen die Unterscheidung; ich pflege sie dann durch einen Ruck der Augen zur Seite zu schieben. Bei vielen Menschen kommen diese Bilder gar nicht vor, aber vielen andern sind sie quälend. Hier und da sind die Erscheinungen unrichtiger Weise Mouches volantes genannt, und mit gewissen subjectiven Gesichtserscheinungen, welche die Ausbildung des schwarzen Staars begleiten, verwechselt worden. Die vorher beschriebenen Erscheinungen sind ganz unschuldiger Natur, und kommen bei der schärfsten Sehkraft vor. Ich bin seit der Kindheit daran gewöhnt. Ob sie von Theilchen in der wässrigen Feuchtigkeit oder im Glaskörper herrühren, ist noch unbekannt.

II. Abschnitt. Vom Gehörsinn.

I. Capitel. Von den physikalischen Bedingungen des Gehörs.

Ein mechanischer Impuls auf das Gehörorgan bringt in dem Gehörnerven die Empfindung des Schalls hervor. Wird dieser regelmässig schnell wiederholt, so entsteht die Empfindung des Tons, dessen Höhe mit der Zahl der Stösse in bestimmter Zeit zunimmt. Schwingungen elastischer Körper sind am häufigsten die Ursache des Tons. Bei dem Geräusch einer Säge, oder mit-

26 *

telst des Savart'schen Rades, so wie bei der Sirene von Cagniard Latour (siehe oben p. 134.) summiren sich blosse Stösse, welche für sich höchstens die Empfindung des Geräusches hervorbringen, zum Werth eines bestimmten Tones. Von einem schwingenden elastischen Körper, welcher (die Pendelbewegungen nach beiden Seiten gerechnet, 1000 Schwingungen in der Secunde machen würde, erhält das Gehörorgan 500 Stösse in der Secunde, durch Vermittelung der Luft, oder des schallleitenden Mediums. Diese sind im Erfolge ebenso viel, als 500 Stösse eines Körpers, welcher durch blosse Stösse, und nicht durch Pendel-Schwingungen tönt.

Mögen die Töne durch Schwingungen oder Stösse erregt werden, so geschieht die Fortpflanzung der Schwingungen wie der Stösse nach dem Gehörorgan, jedenfalls nach den Gesetzen der Wellenbewegung, und diese gelten auch für die ursprüngliche Entstehung derjenigen Töne, welche aus Schwingungen erzeugt werden. Von der Wellenbewegung wird daher zuerst gehandelt werden müssen.

I. Von der Wellenbewegung im Allgemeinen.

(E. H. Weber und W. Weber *Wellenlehre. Leipz.* 1825. Eisenlohr *Lehrbuch der Physik. Mannheim* 1836. 121.)

Wird die Lage des Gleichgewichtes der Theile eines Körpers von aussen gestört, so tritt vor Herstellung des Gleichgewichtes eine Bewegung der Theile des Körpers ein, vermöge welcher sie sich der Lage des Gleichgewichtes abwechselnd nähern und davon entfernen. Wird das Pendel nach einer Seite gestossen, so geht es so lange fort, bis seine Bewegungskraft = 0 wird, nun wird es vermöge der Schwere herabgezogen, mit vermehrter Geschwindigkeit fällt es, und kann deswegen wieder nicht zur Ruhe kommen, es steigt daher auf der entgegengesetzten Seite auf u. s. w., bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Bewegungen, durch welche die Theile eines Körpers sich der Lage des Gleichgewichtes abwechselnd nähern und davon entfernen, heissen Schwingungen oder Wellen. Die Wellen sind entweder Beugungswellen oder Verdichtungswellen. Im ersten Fall verändert sich die Oberfläche des Körpers in Wellenberge und Wellenthäler, ohne Aenderung seiner Dichtigkeit; im letzten Fall besteht die Welle in einer Verdichtung ohne Aenderung der Oberfläche. Dem Wellenthal der Beugungswellen entspricht hier eine Verdünnung. Die Schwingung ist entweder eine fortschreitende, wenn die Schwingung successiv über den Körper fortschreitet, oder stehende, wenn die Schwingungen pendelartig ihren Ort nicht verändern.

A. Beugungswellen der Flüssigkeiten.

Die Beugungswellen der Flüssigkeiten sind Veränderungen des Gleichgewichts derselben auf ihrer Oberfläche bis in eine gewisse Tiefe. Die Schwere liegt dieser Wellenbewegung zu

Grunde. Dergleichen Wellen des Wassers sind viel zu langsam, als dass sie die Ursache von Tönen werden könnten. Gleichwohl ist es wichtig die Gesetze zu kennen, da sich die Gesetze der Wellenbewegung an ihnen am leichtesten beobachten lassen.

a. Fortschreitende Schwingungen oder Wellen.

Wird das Gleichgewicht einer Flüssigkeit an einer Stelle gestört, so bilden sich kreisförmige Wellen mit kreisförmigem Wellenberg und Wellenthal um diesen Punct, welche nach aussen fortschreiten, und denen neue Wellen folgen. Je stärker der Stoss war, um so höher sind die Wellen, und um so grösser ist ihre Geschwindigkeit, aber diese ist auch von der Tiefe der Flüssigkeit abhängig. Werden Wellen in einer tiefen Rinne (Wellenrinne) mit parallelen Wänden durch einen Stoss, welcher die ganze Breite der Rinne einnimmt, erregt, so schreiten die Wellen geradlinig und nicht kreisförmig fort. Die Wellenbewegung ist übrigens keine progressive Bewegung der Wassertheilchen, vielmehr bleiben die Wassertheilchen an ihrem Orte, während die Wellen über das Wasser hingehen. Die Wassertheilchen an dem Orte einer vorübergehenden Welle erleiden nur eine Rotation indem sie, wenn die Welle ankommt, noch niedrig liegen, bei ihrem Weitergehen successiv in den Gipfel der Welle kommen; die Welle geht unterdess weiter fort, und sie kommen in den hintern abhängigen Theil der Welle, so fort, wenn sie vom Wellenthal erreicht sind, ins Wellenthal, von wo sie durch die Ankunft der nächsten Welle wieder steigen.

Begegnen sich zwei an entgegengesetzten Orten erregte Wellen von gleicher Höhe, so durchkreuzen sie sich ohne sich zu hindern. Der Wellenberg der einen und der andern fallen zusammen, und bilden einen doppelt so hohen Wellenberg, ebenso fällt das Wellenthal der einen mit dem Wellenthal der andern zusammen. Die Theilchen der Flüssigkeit werden hier durch zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte zu Rotationen entgegengesetzter Richtung bestimmt. Diese Bestimmungen heben sich auf, und die Theilchen bewegen sich bloss vertical. Nach der Durchkreuzung schreiten die Wellen wieder fort, jede in ihrer Richtung.

Fällt von Wellen die sich begegnen, ein Wellenberg der einen mit einem Wellenthal der andern zusammen, so gleichen sich beide aus und die Stelle bleibt eben. Nach der Kreuzung gehen die Wellen wieder in ihrer Richtung fort. Bei der Durchkreuzung paralleler Wellen mit anderen parallelen Wellen von anderer, aber nicht entgegengesetzter Direction, treten die vorhergenannten verschiedenen Fälle zugleich an verschiedenen Stellen ein. Denn wenn in der beistehenden Figur die ganzen Striche die Wellenberge, die punctirten Striche die Wellenthäler bezeichnen, so entstehen, wo sich die ganzen Striche untereinander kreuzen, Wellenberge von doppelter Höhe, wo sich die punctirten Stri-

che kreuzen, Wellenthäler von doppelter Tiefe, und wo sich die ganzen Striche mit den punctirten kreuzen, heben sich der Wellenberg der einen und das Wellenthal der andern Welle gegenseitig auf, und diese Stellen bleiben eben. Diess ist die Interferenz der Wellen.

Die Wellen werden von den Wänden fester Körper reflectirt. Die Reflexion einer Welle geschieht unter demselben Winkel, unter welchem sie auffällt, wie bei dem Lichte. Denkt man sich eine Welle in eine Reihe Kräfte zerlegt, welche nebeneinander fortgehen, so wird jeder Theil der Welle unter demselben Winkel von der festen Wand reflectirt werden, unter welchem er gegen dieselbe stösst, daraus entsteht ein System von reflectirten Wellentheilen, die zusammen eine reflectirte Welle bilden, welche entweder mit den ursprünglichen Wellen dieselbe, oder eine verschiedene Direction haben. Die reflectirten und ursprünglichen Wellen haben eine gleiche Direction, wenn geradlinige Wellen in einer Wellenrinne erregt werden, und wenn ihre Direction senkrecht auf die reflectirende Wand geht, oder auch, wenn kreisförmige Wellen von einem Punct ausgehen, und gegen eine Wand anstossen, die selbst ein Kreis um jenen Punct ist; im letztern Falle gehen die reflectirten Wellen wieder gegen den Mittelpunct des Kreises zurück.

Eine kreisförmige Welle wird von einer geraden Wand so zurückgeworfen, als käme sie von einem Puncte hinter der Wand, der ebenso weit hinter der Wand liegt, als der Mittelpunct der ursprünglichen Welle von der Wand entfernt ist.

Wellen, welche vom Brennpuncte einer Ellipse ausgehen, und auf eine in der Peripherie der Ellipse befindliche Wand stossen, werden so reflectirt, dass der Mittelpunct der reflectirten Wellen der andere Brennpunct der Ellipse ist. Denn jedes Theilchen einer vom Brennpunct der Ellipse ausgehenden Welle wird, bei Gleichheit des Reflexions- und Einfallswinkels, von der Wand der Ellipse nach dem andern Brennpunct der Ellipse reflectirt.

Wellen, welche vom Brennpunct einer Parabel kreisförmig ausgehen, und gegen eine in der Peripherie der Parabel liegende Wand anstossen, gehen vermöge der Eigenschaften der Parabel nach der Reflexion geradlinig fort, und zwar in mit der Achse der Parabel gleicher Richtung. Denn ein Theilchen einer vom Brennpunct der Parabel ausgehenden Welle wird, bei Gleichheit des Reflexions- und Einfallswinkels, an der Peripherie der Parabel angelangt, in einer mit der Achse der Parabel parallelen Linie reflectirt.

Umgekehrt müssen geradlinige Wellen, welche in, mit der Achse einer Parabel gleicher Direction fortgehen, von den Wänden der Parabel so zurückgeworfen werden, dass die reflectirten Wellen einen gemeinschaftlichen Mittelpunct in dem Brennpuncte der Parabel haben, also kreisförmig und concentrisch in dem Brennpunct der Parabel zusammenkommen.

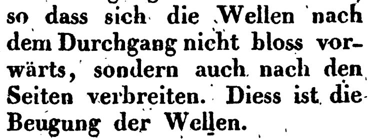
Gehen daher kreisförmige Wellen vom Brennpuncte einer Parabel aus, querlinig durch die Reflexion von den Wänden der Parabel ab, in mit der Achse der Parabel gleicher Richtung fort,

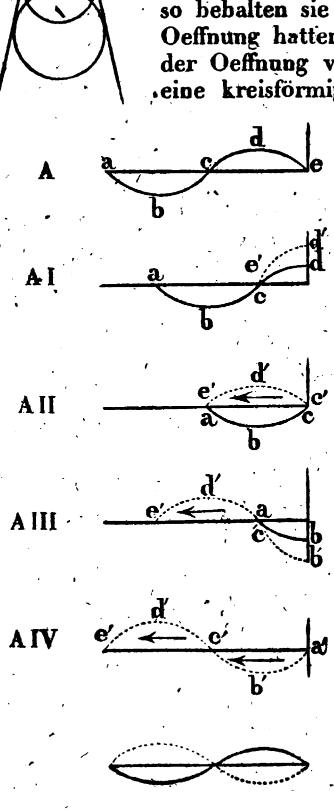
so werden sie von einem ihnen entgegenstehenden zweiten Parabelstück abermals so reflectirt werden, dass sie in dem Brennpuncte der zweiten Parabel zusammenkommen.

Werden Wellen im Wasser durch einen Stoss bewirkt, der in der ganzen Länge einer Linie stattfindet, so kann man sich jeden Punct der Linie als Mittelpunct von kreisförmigen Wellen vorstellen, die gleichzeitig abgehen, und daher bei ihrer weitern Ausdehnung immer gleich gross sind. Durch die Deckung der Kreise entsteht parallel mit der Linie, von welcher der Stoss ausging, eine grössere vordere und hintere gerade Welle *a*, *b*. Schreitet ein Körper im Wasser fort, so erregt er fortdauernd kreisförmige Wellen. Die jüngsten sind noch klein, während die älteren hinter dem Körper sich schon um so mehr ausgedehnt haben, je früher sie entstanden sind.

Diese Wellen bringen an den Seiten, wo sie sich decken, grössere Wellen *a*, *b* hervor, die von dem stossenden Körper aus divergiren.

Gehen Wellen durch eine Oeffnung durch, so behalten sie nicht die Form, die sie in der Oeffnung hatten, sondern ihre an den Rändern der Oeffnung vorbeigegangenen Enden erhalten eine kreisförmige Umbeugung um die Ränder, so dass sich die Wellen nach dem Durchgang nicht bloss vorwärts, sondern auch nach den Seiten verbreiten. Diess ist die Beugung der Wellen.



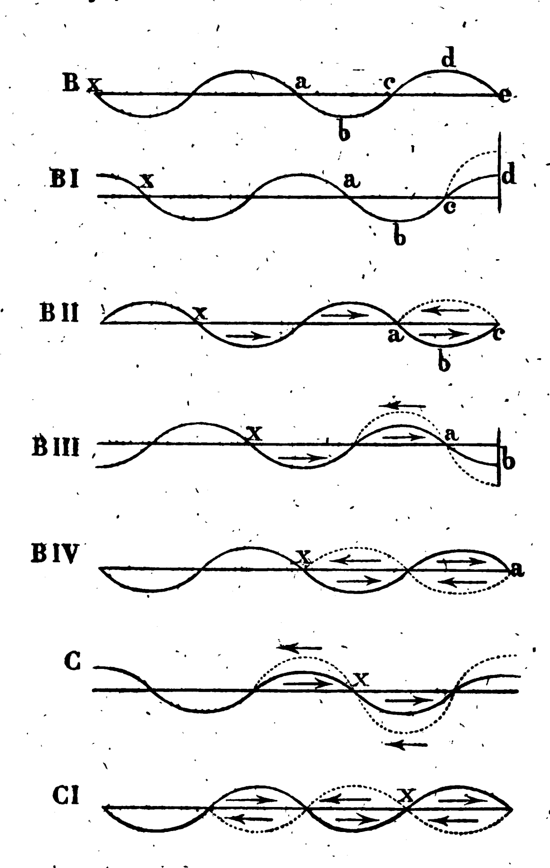


b. Stehende Schwingungen.

Ist *A abcde* eine auf einer Flüssigkeit erregte Welle, *cde* der Wellenberg, *abc* das Wellenthal, *e* eine feste Wand, gegen welche die Welle anprallt, so giebt es einen Zeitpunct, 1. wo die Welle um die Hälfte ihres Berges, oder um $\frac{1}{4}$ ihrer Länge sich der Wand *e* genähert hat und die Lage *AI abcd* hat. Die erste Hälfte ihres Wellenberges ist dann schon reflectirt, daher der halbe Berg an der Wand aus einer halben fortschreitenden Welle *cd*, und einer halben reflectirten Welle *d'e'* besteht, und darum höher ist. Nach einem Verlaufe von zwei Zeittheilchen ist die Welle bis zu ihrem Thal gegen

die Wand fortgeschritten, und der ganze Wellenberg ist reflectirt. II. *abc* das Wellenthal, *c'd'e'* der reflectirte Wellenberg; beide gleichen sich aus, die Stelle ist daher im Zeitmoment 2 eben. Nach Verlauf des dritten Zeittheilchens ist auch das Wellenthal um seine Hälfte fortgeschritten, und nur die Hälfte des Thals *ab* noch übrig. III. die erste Hälfte des Thales ist schon reflectirt *b'c'*, der früher reflectirte Wellenberg aber ist um die Hälfte seiner Länge rückwärts geschritten *c'd'e'*. Nach Verlauf des vierten Zeittheilchens ist auch die zweite Hälfte des Thals der ursprünglichen Welle abgelaufen, und reflectirt *a'b'c'*, der früher reflectirte Wellenberg aber ist wieder um die Hälfte seiner Länge rückwärts vorgerückt. Die Stellung der reflectirten Welle IV. *a'b'c'd'e'* ist daher nach Verlauf der vier Zeittheile dieselbe, wie die ursprüngliche Welle vor dem ersten Zeittheil, aber umgekehrt; wo der Berg der ersten war, ist nun das Thal, wo das Thal der ersten war, nun der Berg.

Befand sich nun hinter der ersten ursprünglichen Welle *B abcde* eine zweite *xa*, so wird die Stellung nach dem ersten Zeittheil wie in *BI* seyn, nach dem zweiten Zeittheil wie in *BII* seyn,



nach dem dritten Zeittheil *BIII*. Nun decken sich der Wellenberg der zweiten ursprünglichen, und der Wellenberg der reflectirten ersten Welle. Hier ist ein grösserer Wellenberg. Nach dem vierten Zeittheil deckt der Wellenberg der zweiten ursprünglichen Welle das Wellenthal der reflectirten ersten Welle, und umgekehrt. In diesem Moment wird die Fläche eben seyn *BIV*. Im nächstfolgenden Moment sind beiderlei Wellen wieder um $\frac{1}{4}$ einer ganzen Welle in entgegengesetzter Richtung fortgeschritten, oder die vorher sich deckenden Theile haben sich um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt, die Stellung wird also wie in *C* seyn, wo sich die Wellenthäler und wieder die Wellenberge decken, und daher ein tieferes Wellenthal und einen höhern Wellenberg hervorbringen. Im nächsten Moment *CI* decken wieder die Wellenberge die Wellenthäler. Diese regelmässig sich wiederholenden Wellen heissen stehende Wellen oder stehende Schwingungen. Hierbei schreiten die Berge und Thäler der Wellen nicht fort auf andere Theile der Flüssigkeit, sondern es bleiben die bloss verticalen Veränderungen an ihrem Orte. Es sind abwechselnde verticale Erhebungen und Senkungen, welche die Folge von zwei sich kreuzenden Wellenbewegungen sind.

Stehende Schwingungen werden in der geraden Wellenrinne durch tactmässige Erregung von hintereinander folgenden Wellen bewirkt, die dann reflectirt werden, oder in einem kreisförmigen Gefässe durch tactmässige Erregung von Wellen in der Mitte. Auch in mit Flüssigkeit gefüllten Gefässen, die auf einer Trommel oder Pauke oder auf einem Rohrstuhl stehen, beobachteten die Gebrüder Weber die stehende Schwingung, wenn die elastische Unterlage tactmässig angestossen wurde.

B. Beugungswellen fester Körper.

Die Ursache der Beugungswellen der Flüssigkeiten ist die Schwere; die Ursache der Beugungswellen fester Körper ist die Störung und Herstellung der Cohaesion und Elasticität. Sie sind viel schneller, als die Beugungswellen des Wassers und werden in elastischen Körpern Ursache von Tönen.

Wird ein gespanntes Seil oder eine gespannte Saite nicht in der Mitte, sondern näher dem einen Ende angestossen, so entsteht eine Ausdehnung des Körpers an dieser Stelle, welche als eine Welle oder Schwingung sich dem ganzen Seile mittheilt, und von dem einen zum andern Ende fortschreitet, am Ende angelangt wieder zurückgeht u. s. w., wie bei der Wellenbewegung der Flüssigkeiten.

Wird das Anstossen des Seils oder der Saite mehrmals hintereinander wiederholt, so folgen sich regelmässige Wellen, wie auf dem Wasser, und indem diese am andern Ende des Seils reflectirt werden, entstehen auch stehende Wellen, wie im vorher erläuterten Fall, durch die Kreuzung entgegengesetzter Wellen. So entstehen aus fortschreitenden Schwingungen stehende. Die ruhenden Puncte zwischen den Wellen heissen Schwingungsknoten.

Die einfachste stehende Schwingung eines Seils oder einer

Saite ist indess diejenige, welche nicht aus der fortschreitenden hervorgeht, sondern, wobei die Saite zwischen ihren Befestigungen hin und her schwingt, transversale Schwingung. Die Befestigungsenden sind hier die Schwingungsknoten. Diese Art der Schwingung erfolgt am leichtesten, wenn man eine Saite zerrt oder streicht. Eine stehende Schwingung ist auch die transversale Schwingung ungespannter fester Körper, z. B. der Metallstäbe, die an einem Ende angehalten werden.

C. Verdichtungswellen der Flüssigkeiten, Gase und festen Körper.

Bei den Beugungswellen des Wassers findet keine Verdichtung und Verdünnung statt, und auch bei den Beugungswellen eines Seils ist die Verdichtung und Verdünnung nicht nothwendig mit den Beugungswellen verbunden. Ist das Seil nicht ausdehnbar oder nicht elastisch, so können die Beugungswellen durch blosse Verschiebung und das Bestreben der Theile wieder in gerade Richtung zu gelangen hervorgebracht werden. Meist sind freilich die Beugungswellen der Saiten auch mit Verdichtung und Verdünnung verbunden. Das Eigenthümliche der Beugungswellen besteht darin, dass vielen Theilchen eines Körpers zugleich eine so starke Bewegung in einer auf die Oberfläche des Körpers senkrechten Richtung ertheilt wird, dass die Oberfläche sichtbar verändert wird. Verdichtungswellen hingegen entstehen in allen Körpern, wenn der Stoss bloss die kleinsten Theilchen des Körpers successive und eines durch das andere bewegt. Daher nennt man diese Wellen auch Wellen des fortschreitenden Stosses. Durch den Stoss der bewegten Theilchen auf die nächsten findet nothwendig Verdichtung statt, und diese bedingt wieder hinter sich Verdünnung. Die sich fortpflanzende Bewegung der Theilchen ist hierbei so klein, dass eine Veränderung der Oberfläche der Körper nicht sichtbar wird. So schreitet der Stoss auch durch eine Reihe von Kugeln fort, während sie ihren Ort behalten.

Die Richtung der Bewegung der Theilchen, welche der verdichtende Stoss hervorbringt, kann bei einem Stab oder einer Saite von der Richtung, in welcher die Verdichtungswelle fortschreitet, verschieden seyn. Wird z. B. der Stab oder die Saite a——————b in der Nähe von *a* senkrecht auf seine Länge gestossen, so reissen die bewegten Theilchen die nächsten in derselben Richtung, d. h. senkrecht auf *ab* fort, diese wieder die nächsten, bis zuletzt *b* bewegt wird; es werden also successiv alle zwischen *a* und *b* liegenden Theilchen in einer auf *ab* senkrechten Richtung bewegt oder in Verdichtung gesetzt, d. h. von *a* bis *b* läuft eine Welle, während die Bewegung der Theilchen durch den Stoss eine ganz andere, nämlich senkrecht auf *ab* ist. Wird der Stoss der Mitte des Stabs ertheilt, so läuft die Welle in zwei Richtungen nach *a* und nach *b*. Auch in einer Platte entstehen solche Wellen, wie Savart gezeigt hat. Vergl. Weber a. a. O. p. 440.

Die Fortpflanzung des Stosses in Körpern, die einen cubischen Raum ausfüllen, z. B. in Felsen, Wasser und Luftmassen, geschieht nach allen Seiten. Die Fortpflanzung des Schalls in allen Körpern geschieht durch Fortpflanzung des Stosses oder der Verdichtungswellen.

Wellen, welche in der Luft erregt werden, bestehen in fortlaufenden Verdichtungen und Verdünnungen. Die verdichtete Stelle ist der Wellenberg, die verdünnte das Wellenthal. Eine in einer Röhre fortschreitende Luftwelle prallt, wenn jene am Ende geschlossen ist, zurück, und behält zurücklaufend ihre Eigenschaften; auch an einem offenen Ende prallt die Welle unvollkommen zurück, nimmt aber dabei, wie die Erfahrung lehrt, entgegengesetzte Eigenschaften an, indem sie verdünnend wird, wenn sie verdichtend war und umgekehrt. Die Wellen in der freien Luft sind kugelförmig. Weber a. a. O. §. 276.

II. Von den stehenden und fortschreitenden Wellen tönender Körper.

Tönende Körper schwingen entweder mit Beugungswellen oder Verdichtungswellen, an tönenden Saiten und festen Körpern kommen entweder die einen oder die anderen oder beide zugleich vor. Tönende Luftmassen schwingen nur mit Verdichtungswellen. Die Wellen tönender Körper sind theils stehende, theils fortschreitende.

Wird eine Saite in der Mitte aus ihrer Lage gezogen und dann sich selbst überlassen, so bemerkt man keine fortlaufenden Wellen, oder sie sind nicht deutlich. Dagegen schwingt die Saite in der ganzen Breite der Ausbeugung, oder mit ihrer ganzen Länge hin und her in transversaler Richtung, wie ein Pendel. Sie sucht nach der Beugung eine gerade Lage vermöge ihrer Elasticität einzunehmen, aber der Zug, dem sie folgt, wirft sie auch über die gerade Linie hinaus auf die entgegengesetzte Seite und so fort bis zu ihrer Ruhe. Diess ist eine stehende Schwingung.

Die Schnelligkeit ihrer Schwingungen oder die Zahl der Stösse, welche sie der Luft ertheilt, nimmt in umgekehrtem Verhältniss mit der Länge der Saite, und im geraden Verhältniss der Quadrate der spannenden Kräfte zu, d. h. eine Saite, welche 100 Schwingungen in der Secunde macht, schwingt mit der Hälfte ihrer Länge bei gleicher Spannung 200 Mal. Bleibt ihre Länge gleich, und macht sie bei 1 Loth Spannung 100 Schwingungen in der Secunde, so schwingt sie 200 Mal bei 4 Loth, 400 Mal bei 16 Loth Spannung.

Zu transversalen stehenden Schwingungen sind auch Stäbe fähig. Die Zahl der Schwingungen steht hier in geradem Verhältniss mit der Dicke der Stäbe und in umgekehrtem Verhältniss mit den Quadraten der Länge der Stäbe.

Unter gewissen Umständen ist ein longitudinales Fortlaufen des Gipfels der Welle mit einer stehenden transversalen Schwingung

der Saite verbunden, ohne dass dadurch die Zahl der Schwingungen eine andere wird, als bei blosser transversaler Schwingung. Wird z. B. die Saite in der Nähe ihres Befestigungspunctes angezogen, so macht sie nicht bloss transversale Schwingungen, so wie wenn sie in der Mitte ihrer Länge angezogen wird, d. h. transversale Schwingungen mit einer Länge der Welle, welche der Länge der Saite gleich ist, sondern der Gipfel der Welle läuft abwechselnd von einem zum andern Ende und zurück, indem er sich beim Anstossen an den Befestigungspuncten jedesmal nach der entgegengesetzten Seite der Saite umkehrt. Die Zahl der Schwingungen einer so schwingenden Saite ist ganz dieselbe, wie wenn sie, bei gleicher Lage des Gipfels der Welle in der Mitte der Saite, schwingt, und da die Höhe des Tons von der Zahl der Schwingungen in bestimmter Zeit abhängt, so ist die Höhe des Tons in beiden Fällen gleich; aber der Klang ist etwas verschieden. Dieser Umstand ist für die Theorie des Klanges von Wichtigkeit.

Stehende Wellen entstehen auch, wenn man durch leichte Unterstützung oder schwache Berührung einer Saite einen Schwingungsknoten bildet, und den isolirten Theil der Saite streicht. Wird z. B. die Saite in der Mitte berührt, dann aber die eine Hälfte der Saite mit dem Violinbogen gestrichen, so schwingt nicht bloss die gestrichene Hälfte der Saite transversal, sondern auch die andere Hälfte in entgegengesetzter Richtung. Nun ist die Zahl der Schwingungen das Doppelte der Schwingungen der ganzen Saite, und der erregte Ton die Octave des Grundtons. Geschieht die Unterstützung oder Berührung an der Grenze zwischen dem ersten und dem zweiten Drittheil, so entsteht von selbst ein Schwingungsknoten auch zwischen dem zweiten und dritten Drittheil, und die Zahl der Schwingungen ist 3 Mal so gross, als die der ganzen Saite. So lässt sich durch Isolirung eines Viertels, Fünftels u. s. w. eine regelmässige Theilung der ganzen Saite in lauter Viertel, Fünftel, durch von selbst entstehende Schwingungsknoten bewirken. Papierschnitzel auf den Stellen der Schwingungsknoten angebracht, werden während des Schwingens nicht abgeworfen. Die auf diese Weise erzeugten Töne heissen Flageolettöne.

Scheiben, welche durch den Fidelbogen in Schwingung versetzt werden, theilen sich regelmässig in aliquote, in entgegengesetzten Richtungen schwingende 4. 6. 8 Abtheilungen, zwischen welchen die ruhenden Knotenlinien liegen, welche aufgestreuten Sand nicht abwerfen. Die Berührung des Randes der Scheibe an einer Stelle erzeugt eine Knotenlinie, welche bestimmend wird für die Vertheilung der übrigen Knotenlinien. Die zweite Bestimmung geht von der Stelle aus, welche mit dem Fidelbogen gestrichen wird. Diese gehört zu den bewegten Theilen, und wirkt bestimmend auf die Entstehung der bewegten Abtheilungen. Hierauf beruhen die Chladni'schen Klangfiguren.

Sowohl die stehenden als die fortschreitenden Schwingungen der elastischen Körper können Töne in unserm Gehörorgan hervorbringen, wenn sie sich regelmässig wiederholen. Denn auch

die stehenden Schwingungen werden, den schallleitenden Körpern mitgetheilt, zu fortschreitenden Wellen, indem jede Schwingung eine in der Luft, im Wasser oder in festen schallleitenden Körpern fortschreitende Welle erregt.

Durch fortschreitende Verdichtungswellen können sowohl feste Körper, als die Luft in Röhren tönen. Stäbe werden durch Reiben der Länge nach in longitudinale Verdichtungswellen versetzt.

Eine Saite kann auch ohne alle transversale Schwingung durch bloss fortschreitende verdichtende Wellen, Töne hervorbringen. Die Zeit zum Hin- und Herlaufen der Verdichtungen und Verdünnungen, welche die Zahl der in der Luft erregten Wellen bedingt, hängt natürlich von der Länge und Spannung der Saiten ab. Ohne beständig wiederholte Stösse behalten diese Wellen aber nicht die erforderliche Stärke und Dauer, während die transversalen Schwingungen der Saiten längere Zeit dauern. Das Reiben bewirkt diese fortdauernd wiederholten Stösse. Durch eine Modification dieser Stösse hat man indess auch auf die Schnelligkeit der Folge der longitudinalen Wellen Einfluss. Dahin gehören die longitudinalen Schwingungen der Saiten, welche Chladni durch Streichen der Länge nach erregte. Auch die Aeolsharfentöne der Saiten scheinen hieher zu gehören. Nach Pellisov (Poggend. *Ann. XIX.* 237.) findet keine messbare Transversalschwingung der Saiten bei den durch die Luft hervorgebrachten Aeolsharfentönen statt. Je nach der Stärke des Windes entstehen verschiedene harmonische Töne, ohne dass Schwingungsknoten bemerkbar werden. Pellisov hat ferner ein Verfahren angegeben, wie man auf einer Violinseite von gleichbleibender Spannung durch Modification des Streichens sehr verschiedene Töne hervorbringen kann. Diess geschieht, indem man den Bogen dicht am Stege einer zwei Schuhe langen $\frac{1}{3}$ Linie dicken ins g gestimmten Violinsaite aufsetzt, und so leicht als möglich und in einem immer gleichen Zuge zu streichen anfängt. Der Ton richtet sich dann ganz nach der Stärke und Schnelligkeit des Streichens und man kann alle Töne, welche die Seite sonst mittelst des Windes giebt, oder alle Aeolsharfentöne $g\ \bar{d}\ \bar{g}\ \bar{h}\ \bar{\bar{d}}\ \bar{\bar{f}}\ \bar{\bar{g}}\ \bar{\bar{a}}$ und noch die meisten dazwischen und höher liegenden Töne leicht hervorbringen. Hierbei laufen nach Pellisov die Schwingungen jener Molecule, welche der Bogen unmittelbar berührt, ans entgegengesetzte Ende und werden reflectirt. Durch eine besondere Handhabung des Bogens brachte er Töne an Saiten hervor, welche tiefer sind als ihre Grundtöne und welche also jedenfalls nicht durch Transversalschwingungen hervorgebracht werden.

Pellisov geht noch weiter, er behauptet, dass auch bei den Tranversalschwingungen der Saite der Ton nicht durch diese, sondern durch die hin- und herlaufenden, verdichtenden und verdünnenden Wellen, die man auch Molecularschwingungen nennt, entstehe. Nach der gewöhnlichen Ansicht kommen diese kleinen Wellen eines elastischen Körpers, welche von der Stelle des Anstosses ausgehen, und sich zufolge der Elasticität dem ganzen Körper mittheilen, nur in sofern in Betracht, als sie zur Resul-

tante die Schwingung des ganzen Körpers zwischen seinen Enden oder zwischen seinen Schwingungsknoten hervorbringen. Pellisov behauptet das Gegentheil, dass der Ton von der Schnelligkeit, mit der die kleinsten Theile der Saite, Luftsäule, Stäbe, Scheiben u. s. w. schwingen, abhänge. Die Schwingungen der ganzen Saite, Luftsäule, Scheibe oder ihre grossen Abtheilungen kommen hierbei bloss in sofern in Betracht, als sie bestimmend für die Schnelligkeit der Molecularschwingung wirken. Daher würde kein Ton entstehen, wenn eine Saite transversal schwänge, ohne dass die einzelnen Molecule Schwingungen machen, (d. h. ohne die fortschreitenden und zwischen den Knoten sich hin- und herbewegenden verdichtenden Wellen.) Pellisov a. a. O. Fechner *Repertorium der Experimentalphysik. I. B.* 256.

Wenn man auch die Annahme von dem Unvermögen der Transversalschwingungen der Saiten Töne zu erregen nicht für erwiesen halten kann, so lässt sich doch aus der Gleichzeitigkeit der Transversalschwingungen und der hin und her fortschreitenden verdichtenden Wellen in einem tönenden Körper die gleichzeitige Entstehung mehrerer Töne sehr gut begreifen. Eine Saite giebt ausser ihrem Grundton leicht noch einen andern leisen, damit harmonischen Ton, die Quinte oder Terze der höhern Octave. Bekannt sind auch die mitklingenden Töne einer Glocke.

In der Luft der Pfeifen hat man es gar nicht mit Transversalschwingungen, sondern bloss mit fortlaufenden und zurücklaufenden verdichtenden Wellen zu thun. Das fortdauernde Blasen hat einen intermittirenden Erfolg. Die Zahl der Wellen in gewisser Zeit, oder was dasselbe ist, die Dicke der Wellen hängt ab von der Länge der Luftsäule der Röhre.

Beim ruhigen Anblasen der gedeckten Pfeifen entsteht der Grundton derselben, bei welchem der Schwingungsknoten am Ende der Luftsäule liegt. In der offenen Pfeife liegt der Schwingungsknoten in der Mitte, und der Ton ist um eine Octave höher. Durch stärkeres Blasen erzeugt man noch andere Abtheilungen und daher höhere Töne. Siehe oben p. 138.

In Hinsicht der für die musikalischen Instrumente geltenden Gesetze muss ich übrigens auf die Lehre von der Stimme verweisen, in welcher die Theorie der musikalischen Instrumente gegeben ist.

Zuletzt ist noch der Unterschied von Schall, Knall, Geräusch, Ton und Klang auseinanderzusetzen. Jede Impression auf das Gehörorgan von einer ihm mitgetheilten Welle, oder mehreren Wellen ist ein Schall. Ein einmaliger Stoss bringt einen einfachen Schall hervor, der, wenn er stark ist, Knall genannt wird. Die Stärke des Schalles hängt ab von der Grösse der Schwingung der Theilchen. Die Qualität des Schalles kann sehr verschieden seyn. Holz, Pappe, Metall haben eine andere Qualität des Schalles. Die Qualität des Schalles scheint theils von der Form der Welle, theils von der Gleichzeitigkeit verschieden schneller Wellen abzuhängen. Ein und derselbe Körper kann, wenn er ungleiche Elasticität in verschiedenen Richtungen besitzt, auch an verschiedenen Orten verschieden schnelle Wellen beim Anstoss hervorbringen, welche

mehr oder weniger nach einander von dem schallenden Körper in den schallleitenden Körper abgehen, und diesem eine zusammengesetzte Welle von eigenthümlicher Form mittheilen. Diese zusammengesetzte Welle, oder diese Summe von Wellen kömmt in derselben Ordnung und Form am Gehörorgan an, als sie in das schallleitende Medium überging, da alle Schwingungen mit gleicher Geschwindigkeit von einem schallleitenden Körper fortgepflanzt werden. Eisenlohr *Lehrbuch d. Physik.* 151. Zur Qualität des Schalles trägt auch bei, dass ein Körper eine transversale und longitudinale Schwingung zugleich machen kann. Die Seite wird, nahe ihrem Ende abgezogen, und sich selbst überlassen, transversale Schwingungen mit ihrer ganzen Länge machen, während zugleich der Gipfel des Wellenbergs abwechselnd von einem zum andern Ende läuft, jedesmal bei dem Wechsel zur andern Seite den Saite umkehrend. Daher ist die Qualität des Schalles einer und derselben Saite bei gleicher Länge und Spannung etwas verschieden, je nach der Stelle, wo sie angezogen wird. Die Form der Welle wird endlich nach Pellisov und Eisenlohr durch die Dichtigkeit des schallenden Körpers modificirt. Bei einem dichten Körper ist die Ausweichung der Schwingung geringer, als bei einem weniger dichten Körper. Die Lufttheilchen, welche ihn berühren, werden gleichzeitiger von ihm abgestossen, und der verdünnte Luftraum, den er bei seiner Zusammenziehung zurücklässt, ist schmaler. Bei ungleicher Dichtigkeit des schallenden Körpers muss endlich auch die der Luft mitgetheilte Verdichtung, und die folgende Verdünnung ungleich seyn.

Folgen sich mehrere Wellen aufeinander, so entsteht ein mehr oder weniger anhaltender Schall, der bald ein Rauschen, bald ein Ton ist. Eine Folge von gleichen oder ungleichen Schallen in ungleichen Zeiten bedingt das Geräusch. (Rasseln, Scharren, Brausen etc.) Eine Folge von einfachen Schallen oder Geräuschen in gleichen Zeiten wird, so lange die einzelnen Acte noch unterschieden werden, noch nicht als Ton, sondern als schwirrendes Gesumme vernommen. Werden die einzelnen Acte nicht mehr unterschieden, so entsteht der Ton, dessen Höhe verschieden ist nach der Schnelligkeit, womit die einzelnen Stösse auf einander folgen. Diess hört man an dem Savart'schen Rad, dessen Zähne Geräusche hervorbringen, so lange die Stösse unterschieden werden. Bei schnellerer Folge summiren sich die Geräusche zum Ton, obgleich das Geräuch noch durchgehört werden kann. Daher wird nicht bloss eine regelmässige Folge von einfachen Wellen, sondern auch eine regelmassige Folge von sehr zusammengesetzten oder Geräuschwellen zum Ton. Ein klangvoller Ton ist derjenige, der durch einfache, hinlänglich starke Wellen, ohne unregelmässige Zwischenwellen oder Geräusche hervorgebracht wird. Die Qualität des Klanges oder das Timbre eines Tons wird durch dieselben Ursachen bedingt, wie die Qualität des einfachen Schalles, beim Ton kommt nur die regelmässige Succession der Wellen hinzu.

III. Von der Wellenbewegung bei der Schallleitung.

1. Fortschreitende Wellen bei der Schallleitung.

Weber a. a. O. p. 501.

Die Fortleitung der Schwingungen tönender Körper geschieht in der Regel durch Verdichtungs- und Verdünnungswellen, nicht durch Beugungswellen. Auch das Wasser leitet die Schallwellen auf diese Art. Diese Art der Bewegung ist also von den Beugungswellen des Wassers ganz verschieden.

Ein der Luft, von einem Punct aus nach allen Richtungen, mitgetheilter Stoss erregt eine sphärische Welle verdichteter Luft, von der Form einer hohlen Kugel, welche nach allen Richtungen gleichmässig sich ausdehnt und also ihre Kugelgestalt behält. Eine sich in der Luft plötzlich ausdehnende Kugel würde eine solche Welle erregen. Die von einer sich ausdehnenden Kugel gestossenen Lufttheilchen erhalten eine dieser Ausdehnung entsprechende Bewegung in der Richtung des Radius und im nächsten Augenblick, wenn die sich ausdehnende Kugel sich wieder zusammenzieht, und in ihrer Umgebung eine Verdünnung bewirkt, eine entgegengesetzte Bewegung. Diese Bewegung erfahren sofort alle Theilchen der Luft, durch welche die sphärische Welle durchgeht. Aber die Grösse der Bahn, welche die Lufttheilchen vorwärts und rückwärts durchlaufen, was mit den Wellen des Wassers verglichen, die Höhe des Wellenberges ist, nimmt mit dem Fortschreiten der Welle ab, während die Dicke der Welle bei ihrer Ausdehnung gleich bleibt; gerade so, wie wenn eine auf dem Wasser erregte sphärische Welle bei gleichbleibender Breite mit dem Grad ihrer Ausdehnung niedriger wird. Die hohle Kugel der fortschreitenden Welle nimmt gleichmässig an Durchmesser zu, ihr Umfang nimmt daher wie die Quadrate ihrer Durchmesser zu. In eben demselben Verhältniss nimmt der Wellenberg der Welle ab. Diess ist die Ursache, dass die Intensität des Schalls in freier Luft abnimmt, wie die Quadrate der Entfernungen der Schallwelle vom Orte ihrer Entstehung zu nehmen. Bei der Wellenbewegung der Luft in einer Röhre ist kein Grund zu dieser Abnahme.

Bewirkt der stossende oder schwingende Körper in freier Luft keinen Stoss nach allen Richtungen, wie eine sich ausdehnende Kugel, sondern in einer Richtung, so ist die dadurch erregte Welle auch sphärisch, gerade so, wie eine auf dem Wasser durch Stoss in einer Richtung erregte Welle, doch nach allen Richtungen fortschreitet, also kreisförmig ist. Doch die Grösse des Wellenberges oder die Grösse der Bahn, welche die Theilchen der Luft durchlaufen, durch welche die Welle durchgeht, ist in der Richtung des Stosses stärker, weil sie von der Richtung des Stosses selbst zum Theil abhängt. Finden daher die Schallwellen in dem tönenden Körper in einer Richtung statt, wie bei einer schwingenden Saite, und einer schwingenden Luftsäule, so wird auch der Schall in

dieser Richtung deutlicher und stärker gehört. Hierzu scheint mir auch folgender Umstand für gewisse Fälle beizutragen. Die Welle eines der Wellenbewegung fähigen Mediums, kann, wenn der Anstoss in einer gewissen Breite auf dasselbe geschieht, zusammengesetzt gedacht werden aus lauter nebeneinander liegenden cirkelförmigen Wellen von gleichem Durchmesser. Diese Wellen decken sich in einer mit der Breite des Anstosses parallelen Richtung, decken sich aber nicht an den freien Enden der Wellen. Die Welle wird also in einer auf die Breite des Anstosses senkrechten Richtung stärker seyn.

Die Stärke der Schallleitung hängt ceteris paribus vom Verhältniss des tönenden Körpers zum schallleitenden ab. Je gleichartiger der schallleitende Körper dem tönenden ist, um so vollkommener ist die Mittheilung, umgekehrt um so unvollkommener. Die tönende Luft, z. B. eines Blaseinstrumentes theilt der Luft ihre Schwingungen so vollkommen mit, dass eine Verstärkung durch andere Medien nicht stattfindet, theilt hingegen ihre Schwingungen festen Körpern schwer mit. Feste Körper hingegen theilen ihre Schwingungen unvollkommen der Luft, und vollkommen andern festen Körpern mit. Die Schwingungen werden ferner beim Uebergang aus einem Medium in ein ungleichartiges anderes, wie beim Licht, theils fortgeleitet, theils zurückgeworfen. Hieraus erklärt sich, warum Felsenmassen dem in der Luft erregten Ton ein Hinderniss sind, während hingegen der Ton eines festen Körpers, z. B. eines Stabes, stärker dem Ohr durch eine Schnur, als durch die Luft mitgetheilt wird. Nach Wheatstone kann man die Töne eines Saiteninstrumentes durch einen Drath auf einen fernen Resonanzboden leiten.

Abgesehen von der eben bezeichneten verschiedenen Stärke der Mittheilung kann ein Ton durch Resonanz selbst stärker werden, als er im tönenden Körper selbst war. Die Resonanz entsteht durch die Vergrösserung der Oberfläche der gleichartigen schwingenden Theile. Daher tönt eine Stimmgabel stärker, wenn sie auf einen festen Körper aufgesetzt wird. Hierauf beruht auch die Wirkung des Steges und des Resonanzbodens bei den Saiteninstrumenten.

Die Resonanz ist ferner stärker bei einem begrenzten, als bei einem unbegrenzten Körper. Ein begrenzter Körper wirft nämlich die Schallwellen zum Theil von seinen Rändern und Flächen zurück und diese rückkehrenden Wellen mit den vom tönenden Körper neu erregten Wellen. Bei der Durchkreuzung der Wellenberge wird aber die Höhe der Wellenberge verstärkt. Weber a. a. O. p. 536.

2. Stehende Schwingungen in schallleitenden Körpern.

Stehende Schwingungen entstehen bei schallleitenden, begrenzten und zugleich elastischen Körpern. Schon vorher wurde angeführt, dass ein begrenzter schallleitender Körper von seinen Rändern und Ecken die fortschreitenden Wellen zurückwerfe, und dass sich dem zufolge die kommenden und rückkehrenden

Wellen kreuzen. Bei einem resonirenden Körper hängt die Breite dieser Wellen nicht von ihm selbst ab, und es sind nicht nothwendig aliquote Theile seines Ganzen, sondern die Breite der Wellen ist durch den tönenden Körper bedingt. Bei einem tönenden Körper sind die entstehenden Wellen immer aliquote Theile seines Ganzen. Aber ein begrenzter schallleitender Körper kann sich selbst wie ein tönender in nähere, grössere Abtheilungen theilen, indem sich Knoten und Knotenlinien bilden. Solche Knotenlinien z. B. zeigen sich nach Savart's Versuchen auf gespannten den Schall leitenden Membranen, wenn man sie mit einem leichten Pulver bestreut. Scheiben zeigen dasselbe, wenn man sie mittelst eines Stabes mit dem tönenden Körper in Verbindung bringt, wie Savart gezeigt hat. Ueber den Unterschied der Klangfiguren mittönender und selbsttönender Körper siehe Weber *Wellenlehre. p.* 541.

Der Ton eines Körpers kann unter bestimmten Bedingungen in einem begrenzten elastischen Körper nicht bloss Resonanz, sondern auch ein Selbsttönen des letztern erregen, in welchem Fall der letztere Körper seinen eigenen, vom ersten verschiedenen Ton giebt. Gespannte Saiten sind des Mitklingens in ihrem eigenen Ton fähig. Hierzu scheint nicht bloss ein hoher Grad von Elasticität und scharfe Begrenzung, sondern auch die Bedingung nöthig zu seyn, dass die Wellen des ersten Tons zu den Wellen des Grundtons des mittönenden Körpers in einem einfachen Verhältnisse stehen.

Endlich aber kann ein elastischer und begrenzter Körper, unter bestimmten Bedingungen auch den Ton eines selbsttönenden Körpers in der Höhe modificiren, indem sich beiderlei Schwingungen gegenseitig zur Bildung von Wellen modificiren, welche weder dem einen, noch dem andern Körper eigen seyn würden. So modificirt die mit einer Zunge verbundene mitschwingende Luftsäule den Ton der Zunge. Siehe oben p. 146. Ein anderes merkwürdiges Beispiel dieser gegenseitigen Einwirkung beobachtete ich an einer Pfeife, deren offenes Ende ich mit einer Membran (Schweinsblase) schloss. Eine einfüssige am Ende mit einem Stopfen gedeckte Pfeife giebt bekanntlich c̲ als Grundton, wird aber das Ende der Pfeife statt des Stopfens mit einer locker gespannten Membran gedeckt, so ist der Grundton der Pfeife beim schwächsten Blasen nicht mehr c̄, sondern eine Terze bis Quinte tiefer, wird die Membran stärker gespannt, so erhöht sich der Grundton der Pfeife, und bei der stärksten Spannung wirkt die Membran, wie ein fester Stopfen.

Die schallleitenden Flüssigkeiten zeigen in unmittelbarer Berührung mit den tönenden Körpern noch eigenthümliche Beugungswellen an ihrer Oberfläche, welche von den Verdichtungswellen der Schallleitung wohl zu unterscheiden sind. Sie zeigen nämlich auf ihrer Oberfläche sehr regelmässig kleine wellenartige Erhebungen und Vertiefungen, wie stehende Wellen. Diese Erscheinungen sind von Oersted, Purkinje, Chladni und W. Soemmering und Faraday beschrieben. Siehe Chladni und W. Soem-

MEBING in KASTNER's *Archiv für die gesammte Naturlehre. B.* 8. *p.* 91. FARADAY *Philos. Transact.* 1831. 319.

Lässt man eine horizontal gehaltene Stimmgabel, deren eine obere Seite mit einer dünnen Wasserschicht bedeckt ist, in der Luft schwingen, so sieht man die schönsten parallelen stehenden Wellen in der dünnen Wasserschicht, welche meist die ganze Breite der Stimmgabel einnehmen, und ungefähr $\frac{3}{4}$ Linie lang sind. Sie sind gleichsam Abdrücke der Schwingungen des tönenden Körpers, entstanden durch die Bewegungen, welche den Theilchen des Wassers dadurch mitgetheilt worden. Hält man die tönende Stimmgabel mit einer ihrer Flächen in ein Becken mit Wasser, so sieht man von ihren Seiten sehr regelmässige parallele Abtheilungen des Wassers ausgehen, gerade so, als wenn das die Gabel berührende Wasser gleichzeitig mit der Gabel in eine Wellenbewegung geriethe, welche nur eine Fortsetzung oder Verlängerung der Wellen der Gabel wären. Ist die breite Oberfläche der Gabel über dem Wasser des Beckens und nur mit einem dünnen Ueberzug von Wasser versehen, tauchen die Seiten aber ins Wasser des Beckens, so sieht man, dass die Wellen auf der Oberfläche der Gabel, und diejenigen im Wasser des Beckens Verlängerungen von einander sind. Merkwürdig ist aber, dass, welche Fläche der Gabel man ins Wasser tauchen mag, man immer stehende Wellen im Wasser sieht, deren Grenzen senkrecht auf der Oberfläche der Gabel sind. Nur an den Kanten findet hiervon eine Abweichung statt, indem die Linien hier divergirend werden.

Die Erscheinung zeigt sich auch in tönenden Becken, die mit Wasser gefüllt sind, z. B. in Glasgefässen, die mit dem Fidelbogen angesprochen werden, die Wassermasse ist dann wie das Becken je nach der Höhe des Tons in 4, 6 oder 8 Abtheilungen mit Knotenlinien getheilt, zwischen den Knotenlinien zeigen sich bei schwachem Streichen stehende Wellen, deren Grenzen senkrecht sind auf der inneren Fläche des Beckens. Bei stärkerem Streichen entstehen andere Figuren, und durch Kreuzung der Wellen rhomboidische stehende Wellen. Die Breite der Wellen steht in genauem Verhältniss mit der Höhe des Tons, sie sind breiter bei tiefen Tönen. Das Wasser häuft sich übrigens auch an den schwingenden Abtheilungen des Beckens an, und wird spritzend bei stärkerem Streichen ausgeworfen. Wird das Glasgefäss durch Streichen des Randes mit dem Finger in Schwingung versetzt, so bewegen sich die schwingenden Abtheilungen und Knotenlinien beständig, je nach der Lage des streichenden Fingers im Kreise herum.

Glasscheiben, die mit einer dünnen Schichte Wassers bedeckt sind, zeigen die Erscheinnng beim Streichen mit dem Fidelbogen noch schöner.

Heftet man auf die Membran einer Trommel ein Korkstück, und befestigt an diesem ein Stäbchen von Holz, das mit einer runden oder viereckigen Platte endigt, und stellt die Trommel so auf, dass die Platte des Stäbchens leicht in Wasser taucht, so sieht man beim Schwingen der Membran ähnliche Wellen im

Wasser, deren Grenzen wieder senkrecht auf die Seite der Platte sind. Daher erhält man eine sternförmige Figur im Wasser, wenn die Platte rund ist. Eine genügende Erklärung dieser Erscheinungen ist für jetzt nicht möglich.

Faraday sagt, der kleinste mögliche Unterschied in irgend einem Umstande könne während der Schwingungen einer Platte eine Erhebung oder Depression des Fluidums bedingen, und so den ersten Anstoss zum Phaenomen geben, allein ich glaube nicht, dass man hieraus allein und ohne eine regelmässige Unterabtheilung oder ohne die Wellenbewegung im tönenden Körper jene so regelmässigen Erscheinungen erklären kann, obgleich eine befriedigende Erklärung auch in dieser Weise für jetzt nicht möglich ist.

Uebrigens sind die Wellen bei der Schallleitung, Verdichtungswellen, auch im Wasser, wie in der Luft. Die zuletzt erwähnten Wellen an der Oberfläche des Wassers aber sind Erhebungs- oder Beugungswellen.

Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalls hängt von der Dichtigkeit und Elasticität der Körper ab. In trockner Luft beträgt diese in 1 Secunde bei 0° Wärme 332,49 Meter oder 1022,194 P. Fuss. Durch Wärme wird sie vergrössert. Im Wasser geschieht die Fortpflanzung des Schalls ohngefähr viermal so schnell, als in der Luft. Feste Körper leiten den Schall noch schneller. Eisen leitet den Schall $10\frac{1}{2}$ Mal, Holz 11 Mal so schnell als die Luft.

In Hinsicht der Reflexion verhalten sich die Schallwellen, wie die Lichtwellen, sie werden beim Uebergang in ein ungleichartiges Medium theils weiter geleitet, theils reflectirt. Eine im Brennpuncte eines Hohlspiegels aufgestellte Uhr, lässt ihr Picken in dem Brennpunct eines andern, die Schallstrahlen sammelnden Hohlspiegels hören. Da sich die Schallwellen der Luft schwerer den festen Körpern mittheilen, als sie in der Luft weiter geleitet werden, so erhält sich die Stärke des Schalls in einem Communicationsrohr sehr vollkommen, so wie hinwieder die einem stabförmigen festen Körper mitgetheilten Schallwellen in grosse Fernen fast unverändert ihre Stärke erhalten. Ein Sprachrohr stellt eine Parabel vor, in deren Brennpunct der Schall erregt wird. Zufolge der Reflexion an den Wänden der Parabel gehen die Schallstrahlen in Richtungen fort, welche mit der Achse parallel sind. Vergl. oben p. 396. Die Ursache der Verstärkung ist grossentheils das Zusammenfallen der ursprünglichen Wellen mit den reflectirten, wodurch grössere Verdichtungen entstehen. Aber auch die Resonanz der begrenzten Luftmasse im Rohr kommt in Betracht. Denn die Luft einer an beiden oder an einem Ende offenen Röhre resonirt, wenn sie den Schall leitet. Das Hörrohr wird gegen das Ohr enger und condensirt demnach die Schallwellen. Sind seine Wände parabolisch und befindet sich das Ohr nahe dem Brennpuncte der Parabel, so kommen Schallwellen, deren Directionen der Achse der Parabel parallel sind, in einem dem Ohr nahen Puncte zusammen. Eisenlohr a. a. O. p. 164. Ein Nachhall entsteht, wenn bei grösserer Entfernung einer reflectirenden Wand, die reflectirten Wellen merklich später zum Ohr gelangen,

als die ursprünglichen. Ist der Unterschied so gross, dass sich beide nicht mehr an einander schliessen, so ist es das Echo.

II. Capitel. Von den Formen und akustischen Eigenschaften der Gehörwerkzeuge.

I. Von den Formen des Gehörorgans.

Bei den mehrsten wirbellosen Thieren kennt man keine dem Gehörorgan vergleichbaren Theile, und es kann sogar für Manche zweifelhaft seyn ob sie hören, da nicht jede Reaction gegen Schwingungen Ton genannt werden kann, dieselben Schwingungen vielmehr auch durch das Gefühl als Bebung vernommen werden können.

Ueber die mit dem Gehörorgan verglichenen Theile bei Insecten siehe: Comparetti *obs. anat. de aure interna comparata. Patavii* 1789. Treviranus *Ann. d. Wetterauischen Gesellschaft B. I.* 2. *Frankf.* 1809. *p.* 169. Ramdohr *Magazin d. Gesellschaft naturforschender Freunde. Berlin* 1811. *p.* 389. J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes* 437.

Das Wesentlichste am Gehörorgan ist in allen Fällen der specifische Gehörnerve, welcher die Eigenschaft hat, Stösse als Ton zu empfinden, nächstdem ein Apparat, welcher diese Stösse zum Gehörorgan gut zu leiten vermag. Da aber alle Materien die Schallschwingungen als Verdichtungswellen leiten, so sieht man leicht ein, dass ein besonderer Leitungsapparat auch fehlen könne. Daher ist es zu erklären, warum bisher bei so vielen Wirbellosen keine besonderen Gehörorgane aufgefunden werden konnten. Der Gehörnerve wird, wenn er bloss an festen Theilen des Kopfes anliegt, die Schwingungen, welche diesen mitgetheilt werden, nicht minder empfinden müssen, als wenn er sich an einem eigenen Organ ausbreitet. Die einfachste Form des Gehörorgans als besondern Apparates ausser dem specifischen Nerven, ist ein mit Flüssigkeit gefülltes Bläschen, auf welchem sich der Hörnerve ausbreitet. Die Schwingungen werden diesem entweder durch die harten Kopftheile, oder zugleich durch eine nach aussen freiliegende Membran zugeführt. In dieser Form ist das Gehörorgan unter den Articulaten bei den Krebsen, unter den Mollusken bei den Cephalopoden bekannt.

Bei den Krebsen liegt es jederseits an der Unterseite des Kopfes am Grundglied der äussern grössern Antenne. Es besteht aus einem knöchernen Vestibulum, dessen nach aussen führendes Fenster durch eine Membran, wie bei den höhern Thieren die Membrana tympani secundaria, geschlossen ist. Im Innern der knöchernen Höhle liegt ein häutiger, mit Wasser gefüllter Sack, auf welchem sich der Gehörnerve ausbreitet.

Das Gehörorgan der Cephalopoden besitzt ein knorpeliges Vestibulum, eine blosse Excavation des Kopfknorpels, ohne Fenster und ohne Membran nach aussen. In dieser Höhle liegt ein

häutiger Sack, auf welchem sich der Gehörnerve ausbreitet. Bei den Octopus ist die innere Wand des Vestibulum glatt, bei Sepia und Loligo mit weichen Knötchen oder Fortsätzen besetzt, welche das Bläschen schwebend tragen. Im Innern des Bläschens befindet sich eine Concretion, Hörstein.

Siehe über das Gehörorgan des Flusskrebses und des Octopus: E. H. Weber *de aure et auditu hominis et animalium. Lips.* 1820. *Tab.* 1. 2.

Bei keinem Wirbelthier ist das Gehörorgan so einfach, als bei jenen Thieren. Früher glaubte man, dass die Petromyzon in dieser Hinsicht jenen gleichen, aber sie besitzen nach meinen Beobachtungen ein complicirtes Labyrinth und zwei halbcirkelförmige Canäle. Das Gehörorgan zeigt übrigens eine fortschreitende Ausbildung und Zusammensetzung von den Fischen bis zu den Säugethieren. Ueber seinen Bau bei den Wirbelthieren und beim Menschen handeln die Schriften von Scarpa *de auditu et olfactu. Ticini* 1789. Weber a. a. O. Breschet *recherches anatom. et physiol. sur l'organe de l'ouie. Paris* 1836.

A. Fische.

Bei den Fischen fehlt die Schnecke der höheren Wirbelthiere und die Trommelhöhle. Dagegen haben sie das häutige Labyrinth, nämlich den Alveus communis canalium semicircularium, und meist den sackartigen Anhang desselben und halbcirkelförmige Canäle. Das membranöse Labyrinth liegt entweder ganz in der Substanz der Schädelknorpel, wie bei den Knorpelfischen, nämlich den Plagiostomen und Cyclostomen, oder zum Theil in den Schädelknochen, zum Theil innerhalb der Schädelhöhle zwischen Gehirn und Schädelwand, wie bei den Knochenfischen, bei den Stören und Chimaeren.

Wesentlicher sind folgende Hauptdifferenzen bei den Fischen.

1. Nur ein halbcirkelförmiger Canal, welcher ringförmig in sich zurückkehrt, und wovon ein Theil dem Alveus communis entspricht, wo sich nämlich der Gehörnerve ausbreitet. Die Myxinoiden (Myxine und Bdellostoma). Von Retzius zuerst bei Myxine beobachtet.

2. Zwei halbcirkelförmige Canäle, wovon jeder mit einer dreihügeligen Ampulle aus dem Alveus communis canalium semicircularium entspringt. Beide Canäle convergiren, in dem sie auf der Oberfläche des Alveus communis aufliegen, und vereinigen sich bogenförmig; an dieser Stelle stehen sie durch eine Spalte zugleich zum zweiten Mal mit dem Alveus communis in Verbindung, an letzterm zugleich ein säckchenförmiger Anhang. Petromyzon und Ammocoetes. Siehe J. Mueller im Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften. *April* 1836. *Archiv* 1836. *LXXXIV.*

In den beiden ersten Formationen enthält das Labyrinth keine Hörsteine.

3. Drei halbcirkelförmige Canäle in derselben Anordnung, wie bei den höheren Thieren, nämlich von einem Alveus com-

munis ausgehend. Als Anhang des letztern der Sack. In beiden Concremente, wie bei Plagiostomen, oder harte knöcherne Hörsteine, wie bei den Knochenfischen frei enthalten. Der Sack entspricht nicht der Schnecke der höhern Thiere und des Menschen, da der Alveus communis auch bei diesen einen kleinen sackartigen Anhang besitzt.

Bei den Plagiostomen giebt es auch eine Fortsetzung des Labyrinthes bis unter die Haut.

Bei den Haifischen setzt sich bloss die Höhle des Vestibulum cartilagineum durch die Oeffnung im obern Hinterhauptstheil des Schädels bis unter die Haut fort. Bei den Rochen hingegen geht sowohl die Höhle des knorpeligen Labyrinthes, als das häutige bis unter die Haut. Eine Grube im mittlern Hinterhauptstheil des Schädels, die von verdünnter oder auch dichter äusserer Haut überzogen ist, enthält vier Oeffnungen, zwei rechte, zwei linke. Jede hintere führt bloss zum knorpeligen Vorhof, und ist durch ein Häutchen geschlossen. Jede vordere gehört der Verbindung mit dem häutigen Labyrinth an. Zwischen den zwei Oeffnungen im Schädel und der Haut liegen nämlich zwei häutige Säcke, die Höhle eines Jeden setzt sich durch einen Canal, der durch die Schädelöffnung durchgeht, bis in den Alveus communis des häutigen Labyrinthes fort. Dieser Sinus auditorius externus und sein Canal sind mit kohlensaurem Kalk gefüllt, wie solcher auch concrementartig im Alveus communis vorkömmt. Der mit der Haut verwachsene Theil des Sinus auditorius öffnet sich durch drei sehr enge Canälchen durch die äussere Haut nach aussen. Monro *Vergleichung des Baues und der Physiologie der Fische*. 1787. E. H. Weber *a. a. O. Tab. IX.* Bei den Chimaeren fand ich auch eine Oeffnung im Schädel und zwei entsprechende Verdünnungen der Haut, aber die Oeffnung führt in die Schädelhöhle, wo ein Theil des Labyrinthes liegt.

Bei den Knochenfischen kömmt die Verbindung des knöchernen Labyrinthes mit der äussern Oberfläche durch häutig geschlossene Oeffnungen am Schädel nur Ausnahmsweise vor, wie bei zwei Arten von Lepidoleprus nach Otto (Tiedemann *Zeitschrift für Physiologie*. 2. 1. *p.* 86. Lepidoleprus norwegicus hat diese Oeffnung nicht) und Mormyrus cyprinoides nach Heusinger (Meck. *Arch.* 1826. 324.)

Nach E. H. Weber's Entdeckung steht das Labyrinth mehrerer Fische mit der Schwimmblase in einer mittelbaren Verbindung.

Bei mehreren Fischen, wie den Cyprinus, Silurus, Cobitis geschieht diese Verbindung durch Vermittelung einer Kette von beweglichen Knöchelchen. Bei den Cyprinen z. B. stehen beide membranöse Labyrinthe, aus ihrem Alveus communis, den halbcirkelförmigen Canälen und dem Steinsack bestehend, durch Continuität der Membranen mit einem in der Basis des Hinterhaupts verborgen liegenden häutigen Sinus impar in Verbindung, welcher sich nach hinten jederseits in ein häutiges Atrium fortsetzt, welches an der Oberfläche des ersten Wirbels gelegen, zum Theil eine knöcherne Bedeckung hat. An dieses Atrium stösst das er-

ste muschelartige Gehörknöchelchen, das letzte ist mit dem vordern Ende der Schwimmblase verbunden.

Bei den Sparoiden (Boops und Sargus) gehen vom vordern Ende der Schwimmblase zwei Canäle aus, deren blinde Enden an besondern, häutig geschlossenen Oeffnungen des Schädels befestigt sind.

Bei den Clupeen setzt sich das vordere Ende der Schwimmblase in einen Canal fort, der sich gabelig theilt. Jeder dieser Canäle tritt in einen Knochenkanal des Hinterhaupts, hier theilt er sich wieder gabelig, bis jedes der Canälchen in einer knöchernen Capsel sich erweitert. Die eine dieser Capseln enthält bloss das blinde Ende des Fortsatzes der Schwimmblase, in der andern aber stösst ein Fortsatz des häutigen Labyrinthes an den blinden Fortsatz der Schwimmblase.

Bei den Myripristis findet nach Cuvier auch eine Verbindung der Schwimmblase mit dem Labyrinthe statt. Der Schädel ist unten offen, und nur von einer häutigen Wand geschlossen, an welcher die Schwimmblase anhängt.

Die Trommelhöhle und Eustachische Trompete der höhern Thiere, die Nebenhöhlen der Nase bei denselben, die Luftsäcke der Vögel und die Schwimmblase der Fische gehören übrigens in eine Klasse von Bildungen, indem sie sich als mit Luft gefüllte Recessus des Tractus respiratorius und intestinalis ursprünglich bilden, mögen sie später noch durch Gänge oder Oeffnungen mit diesen Höhlen zusammenhängen, oder sich davon ganz isoliren, wie die Schwimmblase mehrerer Fische, denen später der Verbindungsgang mit dem Schlunde fehlt. v. Baer.

Von den Amphibien an sind allgemein entweder ein oder zwei Fenster des Labyrinthes vorhanden, welche entweder ohne mit einer Trommelhöhle in Verbindung zu stehen, und bloss von Haut und Muskeln bedeckt, an die unter die Haut führenden Fortsetzungen des Labyrinthes einiger Fische erinnern, oder mit einer lufthaltigen Trommelhöhle in Verbindung stehen. Das membranöse Labyrinth liegt ganz innerhalb der Schädelknochen. Das Labyrinthwasser enthält nur selten Hörsteinchen, wie bei einigen Amphibien, namentlich den Fischartigen (Menobranchus), meist nur eine Kalkmilch von mikroskopischen Crystallen.

Bei den Amphibien kommen noch grössere Variationen im Bau der Gehörwerkzeuge vor. Sowohl unter den nackten als beschuppten Amphibien giebt es Familien, bei welchen die Trommelhöhle ganz fehlt, und andere, bei welchen sie mit Trommelfell und Eustachischer Trompete vorhanden ist, aber beide Abtheilungen sind darin durchaus verschieden, dass die nackten nur ein Fenster des Labyrinthes und keine Schnecke haben.

B. Nackte Amphibien.

Das einzige Fenster, welches sie besitzen, ist das ovale oder Steigbügelfenster, welches durch den plattenartigen oder kegelförmigen Steigbügel geschlossen wird. Das runde oder Schneckenfenster fehlt mit der Schnecke.

a. Nackte Amphibien ohne Trommelhöhle.

Ihr Gehörknöchelchen ist die Platte des Steigbügels, bedeckt von den Muskeln und der Haut. Das membranöse Labyrinth besteht, wie bei den mehrsten Fischen, aus dem Alveus communis und drei halbcirkelförmigen Canälen. Hieher gehören die Coecilien, (Coecilia und Epicrium), die Derotreten, (Amphiuma, Menopoma), die Proteideen, (Proteus, Menobranchus, Siren, Axolotes, wahrscheinlich auch Lepidosiren), die Salamandrinen, (Salamandra, Triton) und die Bombinatoren unter den Batrachiern oder schwanzlosen nackten Amphibien. Siehe Windischmann *de penitiori auris in amphibiis structura. Bonnae.* 1831.

b. Nackte Amphibien mit Trommelhöhle.

Sie besitzen ein Trommelfell, welches entweder frei oder unter der dicken Haut verborgen liegt, 2—3 Gehörknöchelchen, den mit dem Trommelfell verbundenen Hammer, welcher bloss ein kleines Knorpelplättchen darstellt, den knöchernen Amboss und Steigbügel. Die Eustachische Trompete, ein Recessus der Rachenhöhle, ist hier, wie immer mit dem Vorhandenseyn der Trommelhöhle verbunden. Hierher gehören alle Batrachier oder ungeschwänzte nackte Amphibien mit Ausnahme der Bombinatoren.

Bei den ungeschwänzten nackten Amphibien kommen die grössten Verschiedenheiten im Aussentheil des Gehörorganes vor. Man kann sie in 3 Familien bringen.

1. Batrachier ohne Trommelhöhle, Trommelfell und Eustachische Trompete. Bombinatoren: die Gattungen Bombinator, (igneus), Cultripes Muell. (C. provincialis) und Pelobates Wagl. (P. fuscus Wagl.) es ist Cultripes minor Muell.

2. Batrachier mit äusserlich sichtbarem oder unter der Haut verborgenem Trommelfell, Trommelhöhle, die grossentheils häutig ist, drei Gehörknöchelchen und von einander getrennten Oeffnungen der Eustachischen Trompeten. Hierher gehören die meisten Gattungen der Frösche and Kröten, von unseren z. B. Rana, Bufo, Alytes u. A.

3. Frösche mit knorpeligem Trommelfell, ganz von Knochen eingeschlossener Trommelhöhle, zwei Gehörknöchelchen und vereinter einfacher Oeffnung der Eustachischen Trompeten in der Mitte des Gaumens. Hierher gehören bloss die zungenlosen Gattungen Pipa und Dactylethra. Von den drei Gehörknöchelchen der vorigen, ist das erste zum knorpeligen Trommelfell geworden, das zweite erscheint als sehr langer gebogener Stiel, das dritte ist ein kaum bemerkbarer, das Fenster verschliessender blättchenartiger Anhang des vorhergehenden. Siehe J. Mueller in Tiedemann's *Zeitschrift* 4. 2. und Muell. *Archiv* 1836. *LXVII.*

C. Beschuppte Amphibien.

Sie haben das Steigbügel- und Schneckenfenster. Ihre Schnecke besitzt den Bau der Vogelschnecke (mit Ausnahme der Schildkröten).

a. Beschuppte Amphibien ohne Trommelhöhle.

Das Gehörknöchelchen ist die Steigbügelplatte, welche in einen mehr oder weniger langen Stiel auslauft (Columella). Dieser und die Fenster sind von Muskeln und Haut bedeckt. Schlangen, auch Chirotes, Lepidosternon und Amphisbaena.

b. Beschuppte Amphibien mit Trommelhöhle und Eustachischer Trompete.

Die Columella der vorigen, ihr Ende ist an das Trommelfell durch eine faserknorpelige Masse befestigt. Schildkröten, Crocodile, Eidechsen. Auch die fusslosen mit Augenliedern versehenen Eidechsen, Bipes, Pseudopus, Ophisaurus, Anguis, Acontias. Siehe J. Mueller in Tiedemann's *Zeitschrift* 4. 2. Bei den meisten ist das Trommelfell aussen sichtbar, bei einigen der letzteren von der Haut bedeckt.

D. Vögel.

Das Gehörorgan der Vögel gleicht in den mehrsten Puncten, so im Bau der Trommelhöhle, der Columella und der Schnecke demjenigen der Crocodile und Eidechsen. Die Trommelhöhle führt den Höhlungen der Kopfknochen Luft zu, wodurch der Umfang der resonirenden Wände vergrössert wird. Die Schnecke ist nicht gewunden, und ein fast gerader blind geendigter Canal, der durch eine sehr feine membranöse Scheidewand in zwei Gänge getheilt ist, die Scala tympani und Scala vestibuli. Die Scheidewand ist in einem Knorpelrahmen ausgespannt, der nach dem Ende sich wieder schlauchförmig umbiegt, und sich zur Lamelle der Scheidewand, wie der Schuh des Pantoffels zur Sohle verhält. Die Wölbung dieser Flasche wird durch eine gefässreiche in Querrunzeln gelegte Gefässhaut über die ganze Länge der Schnecke fortgesetzt. Diese Runzeln sind es, welche Treviranus für isolirte Claviertastenartige Blätterchen (?) zuerst beschrieben. Im Alveus communis canalium semicircularium und der Flasche der Schnecke befindet sich ein crystallinisches Pulver von kohlensaurem Kalk. Siehe Windischmann a. a. O. Vergl. Huschke in Muell. *Archiv*. 1835. 335. Breschet *Ann. d. sc. nat.* 1836. Muell. *Archiv*. 1837. *LXIV*.

E. Säugethiere.

Das Gehörorgan der Säugethiere unterscheidet sich im Wesentlichen nicht vom Gehörorgan des Menschen, und die Unterschiede der Einzelnen sind meist nicht von solcher physiologischen Wichtigkeit, dass sie hier erwähnt werden dürften. Die Schnecke ist immer gewunden, und besitzt eine um die Spindel laufende theils knöcherne, theils häutige Spiralplatte, nur die Schnecke des Schnabelthiers und der Echidna gleicht in allen Beziehungen derjenigen der Vögel. Die knöcherne Trommelhöhle vieler Säugethiere stellt eine grosse Knochenblase dar, die meist von dem Os tympanicum gebildet wird. Bei Vielen setzt sich die Trommelhöhle in andern angrenzenden Knochen fort. Siehe Hagenbach *die Paukenhöhle der Säugethiere. Basel.* 1835. Bei ei-

nigen giebt es auch eine obere Trommel, indem das Felsenbein blasenartig nach oben und hinten heraustritt, wie bei den Pedetes, Dipus, Macroscelides. Auf diese Weise werden die resonirenden Räume vergrössert. Die Cetaceen und das Schnabelthier haben kein äusseres Ohr, die Eustachische Trompete der Delphine öffnet sich in die Nase, und der äussere Gehörgang der ganz im Wasser lebenden Säugethiere ist ausserordentlich enge.

Ueber die feinere Ausbreitung der Nerven in der Schnecke und Treviranus und Gottsche's Beobachtungen siehe oben *B. I. 3. Aufl.* p. 610. So wie die Nervenfasern in der Schnecke sich auf der Spiralplatte ausbreiten, um von zwei Seiten von Labyrinthwasser umgeben zu seyn, so breiten sie sich auch in den Ampullen nach Steifensands Entdeckung (Muell. *Archiv.* 1835. 171.) auf einem Vorsprunge aus, der aber die Ampulle nicht ganz durchsetzt, sondern bloss hineinragt. In der Ampulle der Säugethiere befindet sich der Ausbreitung des Nerven entsprechend ein querer Wulst als unvollkommenes Septum. Bei den Vögeln hingegen befindet sich auf diesem Septum ein oberer und unterer knopfförmig endigender freier Schenkel, so dass das Ganze ein Kreuz darstellt, dessen quere Schenkel angewachsen, dessen senkrechte Schenkel frei sind. Bei der Schildkröte hat das Septum als Wulst in der Mitte bloss einen erhabenen Umbo. Das Septum der vordern Ampulle steht schief auf der Wand der Ampulle und hat nicht den Umbo, in der äussern Ampulle ist nur die eine Hälfte des Septum vorhanden. Beim Crocodil und den Eidechsen ist die äussere Ampulle, wie bei der Schildkröte; die anderen haben die kreuzförmige Bildung im Innern. Das Septum der Fische ist eine wulstige Querfalte.

Alle akustischen Vorrichtungen am Gehörorgan sind nur Leitungsapparate, wie am Auge die optischen Leitungsapparate des Lichtes sind. Da alle Materie Schallwellen leitet, so muss das Hören schon unter den einfachsten Bedingungen möglich seyn, denn alle materiellen Umgebungen des Hörnerven müssen nun einmal den Schall leiten. Beim Auge war eine gewisse Construction nothwendig, die Lichtstrahlen oder Wellen so zu dirigiren, dass sie dieselbe Ordnung auf dem Nerven annehmen, wie sie vom Object ausgehen. Beim Gehörsinn fällt diess weg. Alle Medien leiten die in der Direction wie in der Zeitfolge verschiedensten Schallwellen, trotz der mannigfaltigsten Kreuzungen ungestört; wo immer diese Wellen das Organ und seinen Nerven treffen, müssen sie zur Perception kommen. Die ganze Ausbildung des Gehörorganes kann daher bloss in der Erleichterung der Leitung und Multiplication der Wellen durch Resonanz beruhen und in der That lassen sich alle akustischen Apparate des Gehörorganes auf diese beiden Principien zurückführen.

Zum Hören an und für sich sind also weder Trommelfell, noch Gehörknöchelchen, noch Schnecke, noch halbcirkelförmige Canäle, noch selbst Vestibulum und Labyrinthwasser nöthig. Daher alle diese Theile auch fehlen können. Das Gehörorgan der Wirbellosen ist schon auf ein blosses Bläschen reducirt und bei vielen Wirbellosen wird selbst dieses vermisst und es scheint der

blosse specifische Nerve zu genügen. Jeder Körper leitet Wellen; der Körper eines Thiers und die nächsten Umgebungen des Gehörnerven nehmen sie in derselben Ordnung auf, in der sie das schallleitende Medium fortpflanzt, es kann daher nicht einmal behauptet werden, dass die Unterscheidung der Höhe und der relativen Stärke der Wellen besondere Apparate erfordere, aber die Schärfe und absolute Intensität der Töne wird mit der akustischen Ausbildung des Organes zunehmen.

Die Bedeutung dieser Apparate wird am besten erkannt, wenn man sie von ihren einfachsten Formen bis zu dem, was allmählig hinzukömmt, verfolgt; auf diesem Wege lernt man das kennen, was von anderem unabhängig ist und was sich gegenseitig bedingt.

II. Von der Schallleitung bis zum Labyrinth bei den im Wasser hörenden Thieren.

Bei den in der Luft lebenden Thieren gehen die Schallwellen der Luft zuerst an feste Theile des Thieres und des Gehörorganes und von diesen zum Labyrinthwasser über. Die Stärke des Gehörs eines in der Luft lebenden und in der Luft hörenden Thieres muss daher davon abhängen, in welchem Grade die festen Theile des Gehörorganes Luftwellen aufzunehmen fähig sind und welche Verminderung der Excursionen der schwingenden Theilchen beim Uebergang der Schwingungen aus der Luft an die äusseren Theile des Gehörorganes stattfindet, in welchem Grade ferner das Wasser des Labyrinthes Schwingungen der äusseren Theile des Gehörorganes aufzunehmen fähig ist. Der ganze äussere Theil des Gehörorgans ist, wie wir sehen werden, darauf berechnet, die an sich schwierige Aufnahme von Luftschwingungen an feste Theile zu erleichtern.

Bei den im Wasser lebenden und im Wasser hörenden Thieren ist das Problem ein ganz anderes. Das Medium, welches die Schallschwingungen zuführt, ist Wasser, es bringt sie zu den festen Theilen des Thierkörpers, von da sie gelangen wieder in Wasser, zum Labyrinthwasser. Die Intensität des Gehörs hängt hier wieder davon ab, in welchem Grade die festen Theile des Gehörorganes, durch welche die Schallwellen zuerst hindurch müssen, fähig sind, Wellen aus dem umgebenden Wasser aufzunehmen und wieder an Wasser (des Labyrinthes) abzugeben, und welche Verminderung der Excursionen der schwingenden Theilchen bei diesem Uebergange stattfindet. Wir werden hier wieder sehen, dass der ganze äussere Theil des Gehörorganes darauf berechnet ist, diesen Uebergang zu erleichtern.

Da die Mittheilung der Wellen aus der Luft an feste Körper, und aus dem Wasser an feste Körper sehr ungleich ist und durch sehr ungleiche Mittel verstärkt wird, so hat die Natur im äussern Theile des Gehörorganes bei den in der Luft und im Wasser hörenden Thieren ganz verschiedene Apparate dazu nöthig gehabt, während hingegen der innere Theil des Gehörorga-

nes in beiden Fällen viel mehr uniform ist. Im Allgemeinen ist das Problem bei den im Wasser lebenden Thieren einfacher. Der Uebergang der Schwingungen vom äussern Medium bis zum Nerven geschieht durch 3 aufeinanderfolgende Leiter, wovon 2 aber gleich sind; 1) äusseres Wasser, 2) feste Theile des Thieres und Gehörorganes, 3) Labyrinthwasser. Bei den Luftthieren geschieht die Mittheilung durch 3 aufeinander folgende Medien, welche sämmtlich ungleich sind, Luft, feste Theile des Thieres und Gehörorganes, Wasser des Labyrinthes. Aus diesem und keinem andern Grunde ist das Gehörorgan der Luftthiere im Allgemeinen zusammengesetzter, als das der Wasserthiere. Da das Gehörorgan der im Wasser lebenden Thiere, wie der Fische, in der Regel ganz von festen Theilen eingeschlossen ist, so ist die erste Frage diese, wie verhält sich die Mittheilung von Schallwellen aus dem Wasser an feste Theile und von diesen an Wasser (das Labyrinthwasser)? Beim Uebergang von Luftwellen an feste Körper findet eine beträchtliche Verminderung der Excursionen oder Stösse der schwingenden Theilchen statt, während die Mittheilung der Wellen aus tönender Luft an Luft, und von tönenden festen Körpern an feste Körper ohne alle Verminderung geschieht. Den vollen Ton eines festen Körpers, wie einer Saite (ohne Resonanzboden), hört man nur dann, wenn er vom festen Körper durch feste Körper bis zu festen Theilen des Gehörorganes geleitet wird, z. B. indem man einen Stab zwischen den Steg der Saite und das ausgestopfte äussere Ohr legt. Befindet sich aber Luft zwischen dem tönenden festen Körper und dem Ohr, so ist der Ton schwach, denn die Mittheilung der Wellen aus einem festen Körper an die Luft ist schwer und geschieht mit einer Verminderung der Excursion der schwingenden Theilchen oder des Stosses. Umgekehrt wird der Ton tönender Luft (wie eines Blaseinstrumentes) vortrefflich durch die Luft fortgeleitet und zum Gehörorgan gebracht, theilt sich dagegen schwer und nur mit einer Verminderung der Intensität der Stösse festen Körpern mit. Daher der Ton einer Pfeife nicht besser gehört wird, wenn man an das zugestopfte Ohr einen Stab bringt, der bis in die Nähe der tönenden Luft reicht. Ist es nun ebenso beim Uebergang von Wellen des Wassers an feste Körper? findet auch hier eine Verminderung der Stösse statt?

Ueber diesen Gegenstand sind noch gar keine Untersuchungen angestellt. Der bisherige unvollkommene Zustand der Akustik der Gehörwerkzeuge, welche, richtiger gesagt, wohl kaum noch existirte, bestimmte mich, eine Reihe Untersuchungen zu diesem Zwecke anzustellen, wovon ich hier die Resultate mittheile.

I. Die festen Körper nehmen die im Wasser selbst erzeugten Schallwellen mit grosser Stärke aus dem Wasser auf.

Ein Becken von Glas, Porzellan, Holz ist bis an den Rand mit Wasser gefüllt. Auf dem Wasser schwimmt eine Schale, ohne das Becken zu berühren, in der Schale erregt man durch Herabfallen eines Körpers einen Schall. Stopft man sich die Ohren fest mit Bolzen von gedrehtem Papier zu, deren in den Ge-

hörgang gebrachtes Ende vorher gekaut war, und deren äusseres, trockenes Ende aus dem Ohr heraussteht, so hört man durch die Luft den Schall eines festen Körpers äusserst schwach, durch einen Stab von Holz oder besser eine Glasröhre, die man an den tönenden festen Körper und an den Bolzen im Ohr hält, äusserst stark. Taucht man nun den an das Ohr gehaltenen Stab in das Wasser des Beckens, während man etwas in die schwimmende Schale fallen lässt, so hört man aus dem Wasser einen sehr starken und reinen Klang, wie er der Schale eigen ist und sehr viel stärker, als dieser Schall durch die Luft geleitet wird. In diesem Fall sind die Schallwellen aus der Schale oder dem festen Körper an das Wasser und aus dem Wasser wieder an den Stab und so zum Gehörorgan gelangt. Daraus sieht man beides, dass tönende feste Körper nicht bloss ihre Schallwellen mit grosser Stärke an das Wasser abgeben, sondern dass auch das Wasser sie mit grosser Stärke wieder an feste Körper, den Stab abgiebt, durch welchen man sie hört. Wird der Stab beim Versuch ins Wasser gehalten, oder damit die Wand des grössern Beckens berührt, so sind die Bedingungen ziemlich gleich. Der Schall geht aus der Schale ins Wasser, aus diesem entweder unmittelbar in den Stab, oder durch Vermittelung eines zweiten festen Körpers in den Stab. Im letztern Fall kann der Schall etwas stärker seyn, indem noch die Resonanz des Beckens in Betracht kommt.

II. Schallwellen fester Körper gehen stärker durch andere damit in Verbindung gesetzte, feste Körper fort, als aus festen Körpern in Wasser, aber viel stärker aus festen Körpern im Wasser, als aus festen Körpern in der Luft fort.

Diess ergiebt sich leicht bei dem vorhergehenden Versuch. Am stärksten ist nämlich der Ton, wenn man den mit dem Bolzen des Ohrs in Verbindung gesetzten Stab lose an die auf dem Wasser schwimmende Schale selbst hält, während ein Ton darin erregt wird. Schon viel schwächer ist der Ton des Wassers umher, wenn man den Stab hineinhält. Aber die Luft leitet den Schall der Schale am schwächsten; denn der Ton, der durch sie allein zum Bolzen des Ohrs kömmt, ist sehr viel schwächer im Verhältniss zu dem Ton, der aus der Schale selbst und aus dem Wasser durch den Stab zum Bolzen oder Obturator des Ohrs geleitet wird.

III. Schallwellen der Luft theilen sich dem Wasser sehr schwer und sehr viel schwerer, als sie in der Luft fortgehen; sie theilen sich aber dem Wasser sehr leicht mit durch Vermittelung einer gespannten Membran.

Dass man im Wasser Töne vernimmt, welche in der Luft erregt werden, ist eine bekannte Thatsache; aber von grossem Interesse scheint mir die von mir beobachtete Thatsache, dass eine gespannte Membran, welche Wasser und Luft zugleich berührt, den Uebergang der Luftwellen in das Wasser in einem ausserordentlichen Grade erleichtert. Lasse ich eine einfussige messingene oder hölzerne Pfeife ohne Seitenlöcher, so anblasen, dass das untere Ende in Wasser taucht, so höre ich bei

verstopften beiden Ohren den Ton mittelst des in das Wasser getauchten Stabes nur sehr schwach, selbst dann, wenn die Fläche des Wassers senkrecht auf die Achse der Pfeife ist, die Luftwellen also senkrecht auf das Wasser stossen. Wird hingegen das untere Ende der Pfeife mit einer dünnen Membran (Schweinsblase) zugebunden, die nur wenig gespannt ist, so höre ich bei verstopften Ohren, wenn die ins Wasser gehaltene Pfeife angeblasen wird, den Ton sehr stark mit dem an den Obturator des Ohrs und ins Wasser gehaltenen Stabe, besonders, wenn sich der Stab in der Richtung der Wellenbewegung oder in der Direction der Pfeife befindet. Diese Töne sind sehr klangreich. Der tiefste oder Grundton der Pfeife beim schwächsten Blasen oder auch einer der mittlern Töne eignen sich am besten zum Versuch. Zum Stabe bedient man sich eines Stabs von Holz oder noch besser einer Glasröhre von 6—8 Linien Durchmesser, deren Wände senkrecht gegen die Direction der Schallwellen des Wassers gehalten werden. Fährt man, bei an das verstopfte Ohr gehaltener Röhre, mit dieser im Wasser hin und her, so schwillt jedesmal der Ton sehr stark an, so wie er vor der Membran der Pfeife vorbei geht. Diese Vorrichtung ist bei den weiteren Versuchen über das Hören im Wasser und die akustische Bedeutung der einzelnen Theile des Gehörorganes unentbehrlich; sie hat mir die grössten Dienste geleistet und ich wäre ohne dieselbe zu keinen Resultaten gekommen. Bei den hohen Tönen der Pfeifen ist die Verstärkung wenig oder gar nicht bemerkbar. Dieser Versuch beweist auch, dass die Verbreitung der Schallwellen sich im Wasser wie in der Luft verhält, dass nämlich die Stosswellen in der Richtung des ursprünglichen Stosses stärker sind, wenn gleich die Wellen auch im Allgemeinen kreisförmig oder kugelförmig sind.

IV. Schallwellen, die sich im Wasser fortpflanzen, und durch begrenzte feste Körper durchgehen, theilen sich nicht bloss stark dem festen Körper mit, sondern resoniren auch von den Oberflächen des festen Körpers in das Wasser, so dass der Schall im Wasser in der Nähe des festen Körpers auch da stark gehört wird, wo er zufolge der blossen Leitung im Wasser schwächer seyn würde.

Wird nämlich der im vorhergehenden §. beschriebene Versuch angestellt, so hört man bei verstopften Ohren den Ton der ins Wasser gehaltenen, am Ende durch Membran geschlossenen Pfeife, mittelst des ins Wasser getauchten Conductors in der Direction der Pfeife sehr stark, wenn sich bloss Wasser zwischen dem Ende der Pfeife und dem Conductor befindet. Wird nun zwischen beide ein dünnes Brettchen von Holz gebracht, so dass die Schallwellen vom Wasser durch die Zwischenwand, dann wieder durchs Wasser bis zum Conductor gelangen, so hört man den Ton in der Direction der Pfeife so stark, oder fast eben so stark, als wenn das Brettchen weggenommen wird, aber man hört auch den Ton in der Nähe der Oberflächen des ganzen Brettchens ziemlich stark, wenn der Conductor bloss das Wasser in der Nähe der Wände des Brettchens berührt, ohne an das Brettchen anzustossen. Der Ton ist hier stärker, als im übrigen Wasser.

Diese Verstärkung findet in der Nähe aller Wände des Brettchens statt, und ist in ziemlicher Entfernung von dem Hauptzug des Stosses noch merklich. Wird das resonirende Brettchen entfernt, so ist der Ton nur an den Stellen stark, welche dem Stoss der Wellen der Pfeife gegenüber liegen. Auch in der Nähe der Wände des Wasserbeckens ist die Resonanz dieser Wände merklich, wenn sie von Holz sind.

V. Schallwellen, die sich im Wasser fortpflanzen, erleiden auch eine theilweise Reflexion von den Wänden des festen Körpers.

Dieser Satz, der bei der Akustik des Labyrinthes benutzt wird, muss hier schon im Zusammenhange erwähnt werden. Am besten überzeugt man sich von der theilweisen Reflexion der Schallwellen im Wasser, mittelst der mehrfach erwähnten Vorrichtung. Die mit Membran geschlossene Pfeife wird nämlich in das Wasser eines grössern Beckens getaucht. In diesem befindet sich ein mit Wasser ebenfalls gefüllter, am Ende verschlossener, gläserner Cylinder von 6 Zoll Länge, der von einer Person mit den Händen umfasst und so gehalten wird, dass keine Berührung mit den Wänden des Beckens stattfindet. Das Ende der Pfeife wird in die Mündung des Cylinders eingesenkt und dann schwach ihr Grundton angeblasen. Wird nun der Conductor ebenfalls gegen die Mündung des Cylinders gehalten, ohne die Wände des Cylinders und der Pfeife zu berühren, so hört man bei verstopften Ohren mittelst des Conductors den Ton der Wasserwellen eben so stark, als wenn er der Mündung der Pfeife entgegengesetzt wäre. Diese Stärke des Tons ist eine Folge der Reflexion von den Wänden des Cylinders, nicht bloss der Resonanz des Cylinders. Denn die Stärke des Tons bleibt sich gleich, wenn man die Resonanz des Cylinders möglichst geschwächt hat durch Ueberziehen seiner inneren Wände mit einer Lage von Talg und Dämpfung seiner äusseren Wände durch Umfassen mit beiden Händen. Dagegen ist der Ton im Wasser an der äussern Umgebung des Cylinders viel schwächer.

VI. Dünne Membranen leiten den Schall im Wasser ungeschwächt, mögen sie gespannt oder ungespannt seyn.

Wurde nämlich im Wasser zwischen das membranös geschlossene Ende der Pfeife und den in der Direction der Pfeife gehalnen Conductor, eine membranöse Scheidewand aufgestellt, so zeigte sich nicht der geringste Unterschied in der Stärke des Schalles, während er in den seitlichen Richtungen überall schwach war. Zuerst wurde zur Scheidewand eine gespannte Membran benutzt, ein Stück Schweinsblase über einen grossen Ring gespannt. Aber ungespannte Membranen, die bloss im Wasser aufgehängt werden, zeigen denselben Erfolg. Ich legte mehrere Schichten getrockneter und wieder erweichter Schweinsblase auf einander, drückte sie zusammen und die Luft zwischen ihnen aus, und hing die stärkere Scheidewand auf. Selbst wenn 4—8 Lamellen dicht auf einander lagen, wurde noch einige Verstärkung in der Richtung der Pfeife bemerkt. Noch mehrere Membranen hoben sie auf. Ein Stück Haut des Menschen und die 3 Linien dicke Wand des Uterus einer Schwangern als Scheidewand benutzt,

heben alle Verstärkung auf, und der Ton wurde hinter der Scheidewand nicht stärker, als an jeder andern Stelle des Wassers vernommen, die ausser der Hauptdirection der Wellen war.

VII. Aus dem III. IV. und VI. Satze erklärt sich der Vorgang der Schallleitung bei den meisten im Wasser lebenden, nicht luftathmenden Thieren.

Wenn wir bei sehr fest verstopften Ohren Schallwellen des Wassers mittelst eines hölzernen Conductors hören, so versetzen wir uns ganz in den Zustand des Fisches, und hören die Töne so wie dieser. Untertauchen des Kopfes ins Wasser ist weder nöthig, noch zu einer ruhigen Beobachtung geeignet. Der feste Conductor erweitert die festen Theile unseres Kopfes, und setzt sie wie beim Fisch unmittelbar den Schallwellen des Wassers aus. Das einfache oder zusammengesetzte Labyrinth der im Wasser lebenden Thiere ist entweder ganz von den Schädelknorpeln und Knochen eingeschlossen, wie bei den Sepien, Cyclostomen und Knochenfischen, oder es ist zugleich eine Communication des Labyrinthes mit der Oberfläche des Thiers vorhanden, und die Vermittelung geschieht auch durch Membran. Dahin gehört die Membran vor der Hörcapsel der Krebse, und das Fenster der Plagiostomen auf der Oberfläche des Kopfes, welches von verdünnter Haut geschlossen ist. Die Kopfknochen sind übrigens auch der Resonanz im Wasser fähig, d. h. die ihnen mitgetheilten Schwingungen prallen zum Theil von ihren Oberflächen zurück, und bilden in ihnen selbst zurücklaufende Wellen, welche dem Labyrinth zu Gute kommen. Diess folgt aus den im *IV.* Satz erwähnten Thatsachen. Bei den Haifischen und Rochen mit weichem knorpeligem Skelet mag diese innere Resonanz der Kopfknochen geringer seyn, als bei den Knochenfischen. Daher ist vielleicht bei ihnen die fensterartige membranöse Verbindung des Labyrinthes mit der Oberfläche nöthig geworden. Bei den Cyclostomen gehört die Gehörcapsel zu den festen Theilen des Skelets. Bei ihnen liegen noch Muskeln über der Gehörcapsel, welche die Schallleitung vermindern müssen.

VIII. Luftmassen resoniren im Wasser von den Schallwellen des Wassers, wenn die Luft von Membranen oder festen Körpern eingeschlossen ist, und bringen dadurch eine ansehnliche Verstärkung des Tones hervor.

Eine Person erregte mittelst der mit Membran geschlossenen in Wasser gesenkten Pfeife Schallwellen im Wasser in bestimmter Richtung, während ich mit dem ins Wasser getauchten Conductor, diese meinem verstopften Ohr zuleitete. Nun wurde zwischen das Ende der Pfeife im Wasser und den Conductor die Schwimmblase einer Plötze mit den Fingern frei im Wasser hingehalten, so dass die Schwimmblase weder die Pfeife noch den Conductor berührte. In diesem Falle wird der mit dem Conductor hörbare Ton ausserordentlich viel stärker, als wenn die Schallwellen zu dem im Wasser, in derselben Entfernung gehaltenen Conductor bloss durch das Wasser, und nicht zugleich durch die Schwimmblase gelangen. Hierdurch wird bewiesen, 1) dass der Schall durch Vermittelung von Membranen sehr leicht vom

Wasser zur Luft und umgekehrt übergeht, und keine Schwächung erleidet; 2) dass er, wenn die Luft zugleich von Membranen eingeschlossen ist, die von Wasser allseitig umgeben sind, durch die Resonanz der begrenzten Luft bedeutend verstärkt wird, indem die Schallwellen von den Grenzen der Luft zum Theil zurückgeworfen werden und dadurch stärkere Schallwellen entstehen.

XI. Mit Luft gefüllte Membranen resoniren im Wasser, auch wenn die Schallwellen von festen Körpern der Blase mitgetheilt werden.

Wurde die Schwimmblase einer Plötze in den Spalt eines Stäbchens durch Einklemmung befestigt, der Stab an die Wände eines Beckens festgehalten, so dass die Schwimmblase ins Wasser frei hineinragte, dann eine tönende Stimmgabel auf den Rand des Beckens aufgesetzt, so hörte ich die dem Wasser mitgetheilten Schallwellen mittelst des an die verstopften Ohren gehaltenen Conductors sehr viel stärker in der Nähe der Schwimmblase, als an anderen Stellen des Wassers, die gleichweit von der Ursprungsstelle des Schalls entfernt waren und der Ton war so stark, wie wenn ich den Conductor im Wasser den Wänden des Beckens näherte.

Bei dichterer Luft muss diese Resonanz stärker seyn. Diess folgt bereits aus dem für die Schallleitung in der Luft geltenden Gesetz, dass die Intensität mit der Dichtigkeit der Luft zunimmt, und dass der Schall einer Glocke im verdünnten Luftraum sehr schwach wird bis zum Schweigen. Directe Versuche mit einer Schwimmblase zeigen jedoch nur einen sehr geringen Unterschied, wenn ihre Luft comprimirt wird, als wenn sie schlaff ist. Ich stellte den Versuch so an, dass ich die Schwimmblase an das Rohr einer luftdichten Spritze anband, durch welche die Blase mit sehr condensirter Luft gefüllt werden konnte. Die Schwimmblase dehnt sich dabei fast gar nicht aus, weil sie von einer äussern sehnigen Haut umgeben ist.

X. Aus den vorhergehenden Thatsachen folgt, dass die Schwimmblase bei den Fischen zugleich Resonator für die durch den Körper des Fisches durchgehenden Schallwellen ist.

Dieser Luftraum bekommt die Schallwellen des Wassers theils durch die weichen Theile des Körpers des Fisches, theils durch die Knochen, namentlich die Wirbelsäule, vor welcher sie liegt, zugeleitet, und wird eine Ursprungsstelle für Resonanzwellen, welche sich hier wieder ihren Umgebungen, namentlich den Knochen mittheilen. Im Allgemeinen kann daher nicht geläugnet werden, dass die Schwimmblase selbst bei den Fischen, bei welchen sie nicht mit dem Gehörorgane zusammenhängt, Einiges zur stärkern Wirkung des Schalles auf das Gehörorgan beitrage. Wo aber diese Verbindung besteht, sei es durch eine Kette von Gehörknöchelchen bis zum Labyrinth, oder durch unmittelbares Anstossen der Schwimmblase an das membranöse Labyrinth, steht die Schwimmblase als Resonanzboden, Condensator und Leiter der den ganzen Körper treffenden Schallwellen mit dem Labyrinthe in der unmittelbarsten Wechselwirkung. Bei den Cobitis scheint diese Function der Schwimmblase Hauptzweck gewor-

den zu seyn. Ihre sehr kleine Schwimmblase liegt in einer blasigen Aushöhlung des zweiten Wirbelkörpers, und ist zum grössten Theile von Knochensubstanz umgeben, während sie nach vorne mit dem Labyrinthe durch die Gehörknöchelchen zusammenhängt.

Da die Fähigkeit zur Leitung und Resonanz mit der Dichtigkeit der Luft in der Schwimmblase zunimmt, so muss die Einwirkung dieses Organes in grossen Tiefen des Wassers, wo es durch den verstärkten Druck bedeutend comprimirt wird, auf das Gehör stärker seyn. J. Mueller's *Physiologie des Gesichtssinnes* 1826. *p.* 441. Vergl. Carus *im Bericht über die Versammlung der Naturforscher in Jena. Weimar* 1837.

Bei den im Wasser lebenden Amphibien wie den Proteideen, Amphiumen, Menopomen, Tritonen, Bombinatoren ist die Schallleitung vom Wasser zum Labyrinthwasser ausser der Leitung der Kopfknochen nicht durch ein mit der Haut geschlossenes Fenster, wie bei den Rochen und Haifischen, sondern durch ein Fenster mit einem beweglichen Deckelchen, der Steigbügelplatte erleichtert. Dieses ist durch Membran an den Rand des Fensters geheftet, über ihm, wie über den Kopfknochen liegen Haut und Muskeln. Man kann mittelst einer ähnlichen Vorrichtung leicht sich überzeugen, wie viel dieses Fenster beim Hören im Wasser leistet. Die Hauptvortheile dieser Einrichtung sind jedoch nicht für das Hören im Wasser, sondern für das Hören in der Luft berechnet, wie sich hernach ergeben wird. Zum Hören im Wasser würde die Einrichtung des Fensters nicht nöthig gewesen seyn. Die genannten Amphibien sind Luftthiere und Wasserthiere zugleich.

III. Von der Schallleitung bis zum Labyrinth bei den in der Luft lebenden Thieren.

Die intensive Schallleitung von der Oberfläche des Thiers bis zum Labyrinthwasser erfordert bei einem in der Luft lebenden Thiere einen viel zusammengesetztern Apparat, als bei den Wasserthieren. Denn die Mittheilung des Schalls von der Luft an die festen Theile, welche das Gehörorgan und Labyrinthwasser umgeben, ist sehr viel schwieriger, als die Mittheilung des Schalls im Wasser von diesen an feste Theile. Daher kommen nun bei den meisten Luftthieren zwei Fenster vor, wovon das eine durch Membran, das andere durch einen festen Deckel geschlossen ist, Die meisten haben auch eine Trommel und Trompete und eine doppelte Leitung zum Labyrinth, die eine, wo die Leitung vom Trommelfell aus durch feste Körper, Gehörknöchelchen zum Labyrinthwasser geschieht, Weg des ovalen Fensters; die zweite, wo die Leitung vom Trommelfell zum secundären Trommelfell des runden Fensters und Labyrinthwassers durch Vermittelung von Luft geschieht. Der Disput in den physiologischen Schriften, auf welchem dieser Wege die Leitung geschehe, hat gar keinen physicalischen Sinn. Die Luft leitet, Membranen leiten, Gehörknöchelchen leiten, jedes thut also, was es nicht lassen kann.

Eine doppelte gleichzeitige Leitung verschiedener Art muss natürlich den Eindruck verstärken. Die Gesetze dieser Leitung sind bisher nicht ermittelt. Hier wird dieser Gegenstand einer ebenso ausführlichen Untersuchung unterworfen, wie das Hören im Wasser.

Um den akustischen Werth jedes Organtheils kennen zu lernen, muss man sie in ihrer stufenweisen Entwickelung studiren.

a. Luftthiere ohne Trommelhöhle.

Die Luftthiere ohne Trommelhöhle sind fast nie auf die blosse Leitung durch die Kopfknochen angewiesen. Die Mittheilung von der Luft an feste Theile ist zu schwach, als dass sie genügen könnte. Fast alle Luftthiere, auch diejenigen ohne Trommelhöhle, haben Fenster, welche zum Labyrinth führen, und bei den letztern sind sie von Haut und Muskeln bedeckt. Nur bei Rhinophis und Typhlops fand ich keine Fenster und Gehörknöchelchen.

I. Schallwellen, welche aus der Luft ins Wasser übergehen, erleiden eine beträchtliche Verminderung ihrer Intensität, gehen aber mit der grössten Stärke von der Luft zum Wasser durch Vermittelung einer gespannten Membran über.

Dieses ist das Grundphänomen, von welchem wir ausgehen. Der einfache Beweis ist in dem Versuche gegeben, dass die Töne einer Pfeife, die mit ihrem Ende in Wasser getaucht wird, auch wenn die Schallwellen senkrecht auf das Wasser stossen, nur sehr schwach aus dem Wasser mittelst des an die verstopften Ohren gehaltenen Conductors gehört werden, dass der Ton aber sehr stark ist, wenn das ins Wasser getauchte Ende der Pfeife mit einer dünnen Membran geschlossen ist. Hierdurch ist sogleich die Wirkung des runden Fensters und seiner Membran klar. Es vermittelt die intensive Leitung der Schallwellen aus der Luft an das Labyrinthwasser, mag eine Trommelhöhle vorhanden seyn oder nicht. Liegt auch die dünne Membran des runden Fensters nicht frei an der Oberfläche, sondern ist bei den Schlangen von Haut und Muskeln bedeckt, so sind doch diese Bedeckungen kein wesentliches Hinderniss. Auch wenn man den Verschluss der Pfeife aus mehreren Lamellen von Schweinsblase macht, und das Ende in Wasser gesetzt, den tiefsten Ton der Pfeife anbläst, kann man den Ton im Wasser mittelst des Conductors sehr viel stärker hören, als wenn die Pfeife durch einen eingesetzten Stopfen geschlossen war. Diese eigenthümliche Wirkung der Membranen hängt, wie man leicht einsieht, nicht bloss von ihrer Dünnheit, sondern von der Verschiebbarkeit und Elasticität ihrer Theilchen ab. Bei einem festen Körper wird die Mittheilung des Schalles aus der Luft an ihn gleich geschwächt, mag er dick, oder dünn seyn. Denn das Hinderniss findet bloss beim ersten Uebergang statt. Eine Membran kann daher bei jenen Wirkungen nicht bloss unter dem Gesichtspuncte eines sehr dünnen Körpers aufgefasst werden. Von ihrem eigenen ausdehnungsfähigen Zustande hängt es ab, dass sie die Luftwellen leicht aufnimmt, als wäre sie selbst Luft, und leicht an das Wasser abgiebt, als wäre sie Wasser.

Durchnässung der Membranen ist übrigens zu jenen Erscheinungen nicht nöthig, die Membran am Ende der Pfeife kann auch trocken seyn, die Mittheilung ist auch dann schon sehr stark, ehe sie im Wasser aufgequollen ist. Diess ist wieder auf die Membran des runden Fensters bei den Thieren mit Trommelhöhle anzuwenden.

II. Schallwellen gehen aus der Luft ohne merkliche Veränderung ihrer Intensität an Wasser auch dann über, wenn die vermittelnde gespannte Membran mit dem grössten Theil ihrer Fläche an einem kurzen, festen Körper angeheftet ist, der allein das Wasser berührt.

Dieser Satz erläutert die Wirkung des ovalen Fensters, und seiner beweglich eingesetzten Steigbügelplatte bei den Luftthieren ohne Trommelhöhle und Trommelfell, wie bei den Bombinatoren und Schlangen. Auf die Membran, welche ich locker über das Ende der Pfeife gespannt, leimte ich einen Korkstopfen auf, welcher ½ Zoll lang und so breit war, dass er die Membran bis auf eine Linie vom Rande bedeckte. Wurde nun das Ende der Pfeife ins Wasser gesenkt und der tiefste Ton angeblasen, so hörte ich mittelst des gegen die Richtung der Pfeife im Wasser gehaltenen Conductors bei verstopften Ohren fast denselben starken Ton, wie wenn die Pfeife mit blosser Membran geschlossen ist. Sogleich wird der Unterschied bemerklich, so wie der Conductor aus der Richtung der Pfeife und des Stopfens kömmt, dann ist der Ton nämlich viel schwächer. Wurde hingegen das Ende der Pfeife durch einen Stopfen ganz zugestopft und das Ende ins Wasser gesenkt, die Pfeife angeblasen, so war in der Richtung der Pfeife keine merkliche Verstärkung zu vernehmen, und derselbe Stopfen war nun ein Hinderniss, der die starke Schallleitung zulässt, wenn er begrenzt und mittelst eines Saumes von Membran beweglich ist.

Es geht aus diesen Beobachtungen hervor, dass beide Fenster, das von Membran geschlossene und das mit beweglichem Steigbügel geschlossene, sehr gute Leiter für die Mittheilung der Schallwellen an das Labyrinthwasser sind.

Von den in der Luft lebenden Thieren ohne Trommelhöhle haben die Bombinatoren, die Landsalamander und die Coecilien nur das mit dem Deckel geschlossene; die Schlangen hingegen haben beide Fenster.

b. Trommelfell und Gehörknöchelchen.

III. Schon ein kleiner fester Körper, der beweglich durch einen häutigen Saum in ein Fenster eingesetzt ist, leitet die Schallwellen von der Luft zum Wasser (oder Labyrinthwasser) viel besser, als andere feste Theile. Diese Leitung wird aber noch viel mehr verstärkt, wenn der solide, das Fenster schliessende Leiter an der Mitte einer gespannten Membran befestigt ist, die von beiden Seiten von Luft umgeben ist.

Luftschwingungen gehen schwer an feste Körper, und mit einer beträchtlichen Verminderung ihrer Intensität über. Eine Membran wird aber leicht dadurch in Bewegung gesetzt. Schon

aus SAVART's Versuchen weiss man, dass kleine gespannte Membranen, ja das Trommelfell selbst, bei einem in dessen Nähe erregten starken Ton, den Sand abwerfen. Es lässt sich auch durch Versuche direct beweisen, dass eine gespannte Membran viel leichter, als andere begrenzte feste Körper die Luftwellen leitet, und dass wieder, was ebenso wesentlich ist, die Leitung der Schwingungen einer gespannten Membran an feste begrenzte Körper sehr leicht geschieht. Unter diesem Gesichtspunct nämlich als Vermitteler zwischen Luft und Gehörknöchelchen ist das Trommelfell bisher nicht aufgefasst worden. Ich stellte folgende Versuche an.

Eine auf einem Becher gespannte sehr dünne Membran von Papier wirft Lycopodiumsamen bei Annäherung der tönenden Stimmgabel durch Mittheilung der Luftschwingungen leicht, ein fester Körper von einiger Dicke dagegen gar nicht ab. Die gespannte Membran leitet aber auch die von der Luft mitgetheilten Schwingungen mit grosser Leichtigkeit oder Stärke auf feste, sie in einem Punct berührende Körper fort. Legt man nämlich eine Holzplatte mit dem einen Ende auf die Membran einer Trommel, und fasst das andere Ende mit der ganzen Hand, so empfindet diese die Bebungen vollkommen deutlich, wenn die tönende Stimmgabel frei über die Membran gehalten wird. Dagegen leitet die von der Membran isolirte Holzplatte unter gleichen Bedingungen die von der Luft mitgetheilten Schwingungen nur sehr schwach. Die Resonanz des Luftraums der Trommel ist in dem folgenden Versuch vermieden. Spannte ich auf einen Ring ganz dünnes Papier und fasste den Ring mit der einen Hand, so fühlte ich die Bebungen, als ich die Stimmgabel der Membran näherte. War die Membran entfernt, so fühlte die den Ring haltende Hand die Bebungen nicht, wenn auch die Gabel dem Ring sehr genähert wurde.

a

b

c

e

d

Auf folgende Weise lässt sich nun noch genauer die intensive Schallleitung durch die Gehörknöchelchen durch Vermittelung der die Luftschwingungen aufnehmenden Membrana tympani zur Anschauung bringen Ich spannte auf das Ende der einfussigen Pfeife *a*, eine trockene dünne Membran *b* (Schweinsblase), leimte auf die Mitte derselben ein kleines Korkstückchen, und befestigte auf dieses ein dünnes Stäbchen von Holz *c*, an dessen anderes Ende wieder eine Korkscheibe *d* angesteckt wurde. Das Ende des Stabes wurde in Wasser *e* getaucht, und dann der tiefste Ton oder einer der mittlern Töne der Pfeife angeblasen. Wurde der Conductor (eine ½ Zoll weite Glasröhre) bei verstopften Ohren mit dem einem Ende ans Ohr, mit dem andern ins Wasser ge-

halten, so wurde der Ton in einer auf die Korkplatte senkrechten Richtung im Wasser ausserordentlich stark, viel schwächer aber an den andern Stellen des Wasser empfunden. Bei diesem Versuch kann man sich auch überzeugen, dass die stärksten Wellen in longitudinaler Richtung im Stabe fortgehen. Denn wird der Conductor von der Seite dem Stäbchen im Wasser genähert, so hört man den Ton zwar etwas stärker, aber bei weitem nicht so stark, als in einer auf die Korkplatte *d* senkrechten Richtung. Ist die Membran ceteris paribus durch einen fest eingesetzten Korkstopfen ersetzt, so hört man im Wasser keine oder eine sehr geringe Verstärkung des Tones in der Richtung des Stabes.

Der Erfolg ist ganz derselbe, wenn man die Trommelhöhle im Grossen nachbildet und ihre Schallleitung von der Luft auf das Wasser untersucht. *a* ist die Pfeife, *a'* eine hölzerne Röhre, welche in das Ende der Pfeife fest eingesteckt werden kann. Auf dem der Pfeife zugewandten Ende dieser Röhre ist eine Membran *b* gespannt, an welche der Stab *c* stösst. Das untere Ende des Stabes ist an eine Korkscheibe *d* befestigt, welche auf eine über das Ende der Röhre gespannte Membran so fest geleimt ist, dass die Scheibe durch einen häutigen, eine Linie breiten Saum mit dem Rohr *a'* in Verbindung steht. Die Pfeife *a* stellt den äusseren Gehörgang vor, durch welchen Luftwellen dem Trommelfell *b* zugeleitet werden. Der mit Luft gefüllte Raum zwischen *c* und *a'* stellt die Trommelhöhle vor, *cd* ist der Steigbügel, in seinem Fenster beweglich. Wird das Ende des Apparates in Wasser getaucht, und die Pfeife angeblasen, so hört man den Ton in der Richtung des Steigbügels so stark, wie in dem vorigen Versuch.

Die Gehörknöchelchen leiten die ihnen mitgetheilten Schwingungen um so besser, als sie von Luft begrenzte feste Theilchen sind und nicht continuo in die Schädelknochen übergehen. Denn jeder begrenzte feste Körper leitet Schallwellen durch sich selbst stärker, als auf seine Umgebungen, wodurch eine Zerstreuung nach den Umgebungen so sicher, wie in der begrenzten Luftsäule eines Communicationsrohrs (bei Luftschwingungen) vermieden wird. Die Schwingungen des Trommelfells gelangen also durch die Kette der Gehörknöchelchen zum ovalen Fenster und Labyrinthwasser, indem eine Zerstreuung von den Gehörknöchelchen auf den Luftraum der Trommelhöhle durch die erschwerte Mittheilung von festen Theilen auf luftförmige vermieden wird. Da das Trommelfell als gespannter und begrenzter Körper selbst wieder die Wellen von seinen Grenzen zurückwirft, und also kreuzende Verdichtungswellen auf ihm erzeugt werden, so kömmt es auch unter dem Begriff der Resonanz in Betracht. Die auf diese Weise ver-

stärkten Wellen wirken wieder gegen die Kette der Gehörknöchelchen.

Es entsteht nun die Frage, von welcher Art die Schwingungen des Trommelfells sind, Beugungsschwingungen wie an transversalschwingenden Saiten und Membranen oder Verdichtungswellen. Erhält eine Saite oder ein Stab in der Richtung ihrer Länge einen Stoss, so entstehen keine Ausbeugungen, sondern blosse fortschreitende Verdichtungen oder Verdichtungswellen, erhält aber ein hinreichend dünner Körper, eine Saite, eine Membran in einer auf ihre Länge oder Ebene senkrechten Richtung einen Stoss, so entstehen auch Beugungswellen, welche, wenn der Stoss nur eine Stelle des Körpers traf, vom Ort ihrer Entstehung nach den Grenzen des Körpers ablaufen und zurücklaufen, wie Wellen des Wassers, oder wenn der Stoss die ganze Breite des Körpers vor sich her trieb, in ganzer Breite des Körpers stattfindende transversale Beugungen verursachen. Entstehen solche Beugungswellen auch an schallleitenden Membranen, wenn der Stoss senkrecht auf sie trifft, oder bewirkt er blosse Verdichtungen? Allerdings hüpft Sand und Lycopodiumpulver auf schallleitenden schwingenden dünnen Platten und dünnen Membranen, ja selbst wie Savart zeigte, auf dem Trommelfell, wenn sehr starke Töne in seiner Nähe erregt werden. Daraus kann man aber nicht gerade schliessen, dass der Körper, auf welchem sie sich bewegen, eine Beugungsschwingung mache, denn auch eine Verdichtungsschwingung könnte als Stoss leichte Körperchen bewegen, und die in die Luft übergehende Verdünnungswelle kann sie auch mit sich fortreissen. Auch die Knotenlinien schallleitender Platten beweisen keine Transversalchwingungen, denn auch ein mit Verdichtungswellen schwingender Körper kann mit Knoten schwingen, wie die Luft in den Pfeifen. Saiten, welche den Ton einer andern dicht neben ihnen aufgespannten Saite leiten, schwingen wenigstens für das Gesicht nicht mit Beugungsschwingungen. Daraus folgt wieder nicht, dass diese nicht da sind. Sie werden nicht gesehen, wenn die Excursionen nicht hinreichend breit sind. Einen sichern Beweis von der Möglichkeit dieser Schwingung bei einer schallleitenden Membran liefert aber die Trommel. Wird das eine Fell derselben durch Schlag in Schwingung gesetzt, so schwingt sehr deutlich das zweite Fell mit ansehnlichen Excursionen transversal. Auch die Fensterscheiben sind bei Kanonenschall der Beugung und selbst Zerbrechung durch die Luftwelle ausgesetzt. Es kömmt also bloss auf die Stärke des durch die Tonschwingungen mitgetheilten Stosses an, ob ein membranöser, gespannter, schallleitender Körper Beugungsschwingungen machen wird. Es kann daher die Möglichkeit der Beugungsschwingungen bei dem Trommelfelle nicht in Abrede gestellt werden, obgleich die Excursionen seiner Beugungen auch bei den stärksten Schallen bei seiner Kleinheit sehr gering seyn werden. Genauer ausgedrückt wird das Trommelfell in allen Fällen in Transversalschwingungen gerathen, wenn seine Excursionen oder die progressiven Bewegungen der Theilchen, die ihnen von einer Verdichtungswelle der Luft mitgetheilt werden, grösser sind, als die Dicke des Trommelfells.

Bei einer gewissen Stärke der Stösse der Luft muss diess aber der Fall seyn. Da die Gehörknöchelchen articulirt und so angelegt sind, dass eine Annäherung ihrer äussersten Enden möglich ist, so werden die Excursionen des Trommelfells durch die Kette der Gehörknöchelchen nicht gestört werden. Selbst bei den Thieren, die nur ein Gehörknöchelchen besitzen, wie die Vögel und beschuppten Amphibien, ist das äusserste mit dem Trommelfell verbundene Ende mobil. Hieraus ergiebt sich auch, dass die Articulation der Gehörknöchelchen keine blosse Folge ihrer Muskulatur ist, was auch durch die vergleichende Anatomie bewiesen wird, da die Gehörknöchelchen des Frosches so gut articulirt, als die des Menschen, aber ohne Muskulatur sind.

Eine genauere Zergliederung der Fortpflanzung der Schallwellen im freien Luftraum zeigt jedoch, dass nur bei den stärksten Stössen Beugungsschwingungen des Trommelfells entstehen können. Ist die Excursion der Theile eines tönenden Körpers oder der Stoss so stark, dass die Schnelligkeit der Theile des stossenden Körpers so gross ist, als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft, so wird die Bahn, welche die schallleitenden Lufttheilchen in einer Röhre durchlaufen, wenn die Welle durch ihre Stelle durchgeht, auch so gross seyn, als die Bahn des stossenden Körpers. Ist die Schnelligkeit des Stosses nur halb so gross, als die Schnelligkeit des Schalls in der Luft, so ist die Bahn der schwingenden Theilchen der Luft in einer Röhre auch nur halb so gross, als die Bahn des stossenden Körpers. Diese Bahn bleibt sich dann gleich für alle Lufttheilchen der Röhre, durch welche die Welle durchgeht. Weber *Wellenlehre p.* 503. Am leichtesten werden daher im Allgemeinen Beugungsschwingungen des Trommelfells entstehen, wenn der Schall bei grossen Excursionen des tönenden Körpers gleich stark durch eine Röhre bis zum Trommelfell fortgepflanzt wird. Die Fortpflanzung des Schalls im freien Luftraum bedingt aber eine fortschreitende Abnahme der Bahnen der schwingenden Theilchen der Luft. Bleibt sich gleich die Dicke der Welle, d. h. der Raum vom Anfang einer Welle bis zum Anfang der nächsten Welle bei der Vergrösserung des Umfanges der sich ausdehnenden kugelförmigen Welle unverändert, so nimmt doch die Bahn der Theilchen, durch welche die Welle durchgeht, ab, wie die Quadrate der Entfernungen. Weber *Wellenlehre p.* 504. Wäre z. B. die Bahn der schwingenden Theilchen in unmittelbarer Nähe des stossenden oder tönenden Körpers ein Zoll gewesen, so würde die Bahn derselben bei 2 Fuss $\frac{1}{4}$ Zoll, bei 3 Fuss $\frac{1}{9}$, bei 4 Fuss $\frac{1}{16}$, bei 10 Fuss $\frac{1}{100}$ Zoll oder weniger, als die Dicke des Trommelfells seyn. Beim Trommelfell kömmt überdiess noch der Unterschied seiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit von derjenigen der Luft und der Widerstand seiner Befestigungen in Betracht, welche eine viel geringere Progression zulassen werden, selbst wenn die dasselbe stossenden Lufttheilchen eine Excursion machen, welche seine Dicke übertrifft.

Die dem Trommelfell durch sehr starke Stösse mitgetheilte Beugungsschwingung wird das Trommelfell in ganzer Breite ein-

nehmen, wenn die Wellen der Luft senkrecht das Trommelfell treffen. Treffen sie schief auf dasselbe, so dass ein Theil des Trommelfelles zuerst davon berührt wird, so wird auch die Bewegung an dieser Stelle zuerst entstehen, und sich über das Trommelfell so hinbewegen, wie die Beugungswelle, die am Ende eines Seiles, einer Saite oder an einer einzelnen Stelle des Felles einer Trommel erregt wird. Diese Wellen werden von den Rändern abgeworfen hin und herlaufen.

Bei der schiefen Stellung des Trommelfells muss diess selbst in dem Falle geschehen, wenn die Schallwellen gerade durch den Meatus auditorius externus durchgehen, oder wenn die Schallstrahlen parallel mit seiner Achse sind. Bei anderen Directionen der Wellen kömmt die Reflexion von den Wänden des Ganges in Betracht und davon hängt es ab, wie und wo sich zuerst Wellen auf dem Trommelfell bilden.

Von der Fortpflanzung blosser Verdichtungswellen durch das Trommelfell gilt dasselbe. Entweder treffen die Wellen der Luft es in ganzer Breite zugleich, oder eine Stelle desselben zuerst, und laufen dann auf dessen Breite, je nach der Direction der Wellen, in einer bestimmten Richtung ab, und wieder zurück zur Bildung kreuzender Verdichtungswellen. Alle Wellen, welche von festen Theilen auf das Trommelfell geleitet werden, z. B. durch den Ohrknorpel, die Wände des Gehörganges, die Kopfknochen sind natürlich auch Verdichtungswellen. Das Trommelfell wird auch zum Condensator für diejenigen Wellen, welche ihm von festen Theilen irgend zugeleitet werden.

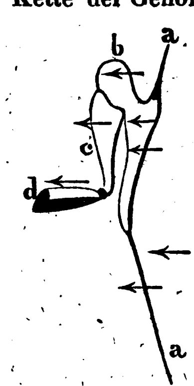
Ist die Welle der Luft zusammengesetzt, so dass sie, während sie fortschreitet, abwechselnd das Maximum ihrer Verdichtung oder den Scheitel ihres Berges hin und herwirft, wie eine Saite, die an einem Ende gestossen, diese Bewegung zugleich, während einer Transversalschwingung macht, so wird auch das Trommelfell diese Bewegung theilend, die davon abhängige Modification des Klanges, Timbre bewirken. Die Beugungsschwingung des Trommelfells würde dabei ganz derjenigen der vorher erwähnten Saite gleichen, Die Verdichtungsschwingungen würden dabei eine gerade, durch das Trommelfell schreitende Verdichtungswelle mit einem zugleich seitlich hin- und her wogenden Maximum der Verdichtung und Verdünnung seyn. Man sieht leicht ein, wie dergleichen zusammengesetzte Wellen auch durch die Gehörknöchelchen unverändert geleitet werden müssen.

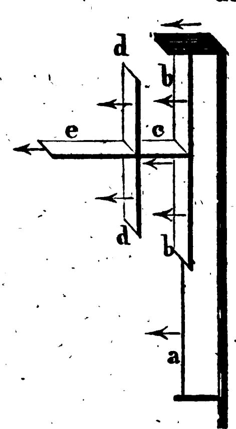
Die Nothwendigkeit der Luft auch auf der innern Seite des Trommelfells, oder die Nothwendigkeit der Trommelhöhle ergiebt sich von selbst, wenn das Trommelfell und die Gehörknöchelchen dem vorher aufgestellten Zweck entsprechen sollen. Ohne diese Bedingung sind weder die Schwingungen des Trommelfells frei, noch sind die Gehörknöchelchen zur concentrirten Fortpflanzung der Wellen isolirt. So leicht sich die Beugungsschwingungen des Trommelfells der Luft der Trommelhöhle mittheilen werden, so wenig ist die feste Substanz der Gehörknöchelchen geeignet, ihre Wellen an die Luft der Trommelhöhle abzugeben und zu zerstreuen. Ebenso nothwendig ist aber auch die Communication

dieser Luft der Trommelhöhle mit der äussern Luft, durch die Eustachische Trompete zur Herstellung des Gleichgewichts des Drucks und der Temparatur der äussern und innern Luft.

Die Fortpflanzung der Schwingungen durch die Gehörknöchelchen bis zum Labyrinth kann natürlich bloss durch Verdichtungswellen geschehen, auch dann, wenn das Trommelfell Beugungen macht. Nicht der ganze Steigbügel wird bei dieser Leitung abwechselnd dem Labyrinth genähert und davon entfernt. Denn dann müsste das Labyrinthwasser sehr zusammendrückbar seyn. Die Bahnen der schwingenden Theilchen, durch welche die Welle durchgeht, sind nur sehr kleine Theile der Länge des Steigbügels.

Der Stiel des Hammers empfängt die Wellen des Trommelfells und der Luft in einer auf ihn selbst fast senkrechten Richtung. Diese Direction behalten die Wellen auch in der ganzen Kette der Gehörknöchelchen, welches auch die relative Lage derselben und ihrer einzelnen Theile seyn mag. Aus dem Stiel des Hammers pflanzt sich zwar die Welle zunächst in den Kopf des Hammers fort, welcher unter einem Winkel vom Stiele abgeht, und aus dem Kopf des Hammers geht die Welle in den Ambos über, dessen langer Fortsatz wieder dem Stiele des Hammers fast parallel ist. Aus diesem Fortsatz des Ambosses gelangt die Welle durch den Steigbügel, welcher wieder eine senkrechte Richtung auf den langen Fortsatz des Ambosses hat. Siehe die beistehende Figur *aa* Trommelfell, *b* Hammer, *c* Ambos, *d* Steigbügel. Alle diese Wendungen in der Lage der Gehörknöchelchen verändern die Direction des Stosses nicht, und er behält dieselbe Direction, welche er durch den Gehörgang auf das Trommelfell und den Stiel des Hammers hatte, so dass der Steigbügel, welcher eine auf das Trommelfell senkrechte Stellung hat, longitudinale Stösse erfährt und dem ovalen Fenster zuleitet. Diess ergiebt sich zur Evidenz aus Savart's Untersuchungen über die Schallleitung durch feste Platten, welche unter Winkeln aufeinander stossen. Wird die Platte *b* auf den Steg einer Saite *a* befestigt, so dass sie die Schwingungen der Saite empfängt, so geräth die Platte, wie die Saite in transversale Schwingungen. Eine senkrecht auf ihr befestigte Platte *c* geräth in longitudinale Schwingungen, d. h. in solche, die wieder mit den Schwingungen der ersten Platte *b* in derselben Richtung erfolgen. Die Schwingungen der Platte *d* sind wieder transversal, wenn sie auf der vorhergehenden *c* senkrecht ist, und die auf *d* senkrechte Platte *e*





schwingt wieder longitudinal. Dieses ergiebt sich, wie SAVART zeigte, aus der Richtung in welcher der Staub abgeworfen wird. Die Richtung der Schwingungen ist in der Figur durch Pfeile angezeigt. Vergleicht man mit dieser Figur, die vorhergehende Figur von den Gehörknöchelchen, so lässt sich die Aehnlichkeit nicht verkennen. In der Figur von SAVART kann man die Saite *a* mit dem Trommelfell vergleichen. Die am Steg befestigte Platte *b* gleicht dem Stiel des Hammers, der als Spanner des Trommelfells selbst auch Steg desselben ist. Die Platte *c* entspricht dem Kopf des Hammers, die Platte *d* dem langen Fortsatz des Amboses, die Platte *e* dem Steigbügel.

b. Spannung des Trommelfells.

IV. Eine kleine, stark gespannte Membran leitet den Schall schwächer, als im schlaffen Zustande.

Die Frage, ob das Trommelfell besser im schlaffen, oder im gespannten Zustande den Schall leite, lässt sich auf Membranen überhaupt ausdehnen. Hier muss man sogleich zwischen Mitklingen, Resonanz und Stärke der Schallleitung unterscheiden. Was zuerst das Mitklingen betrifft, so ist ein durch Spannung elastischer Körper dazu fähig, wenn er gespannt ist, im schlaffen Zustande ist er dazu nicht fähig. Eine gespannte Saite ist des Mitklingens in ihrem eigenen Ton unter gewissen Umständen, und im Allgemeinen der Resonanz fähig. Ein gespanntes Fell einer Trommel verstärkt den Ton einer frei darüber gehaltenen Stimmgabel viel mehr, als wenn die Gabel über eine ganz schlaffe Membran gehalten wird. Soll aber ein Körper in seinem eigenen Grundton mitklingen, so muss er so gestimmt seyn, dass sein Grundton entweder unison ist mit dem primitiven Ton, oder sein Grundton muss wenigstens in einem einfachen Verhältniss zum primitiven Ton stehen. Sonst wird er bloss resoniren, aber nicht in seinem eigenen Ton mitklingen.

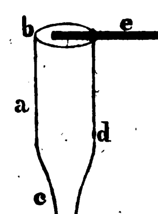
Auch die Stärke der Resonanz hängt ceteris paribus von der Stimmung eines Körpers, und ihrem Verhältniss zum primitiven Ton ab. Hält man eine Stimmgabel über die Oeffnung verschieden langer Pappröhren, so ist die Resonanz der Luftsäule um so geringer, je mehr der Grundton der Luftsäule von dem Ton der Gabel abweichen würde, die Resonanz ist also bei einer gewissen Länge der Röhre am stärksten. Ist die Länge der Luftsäule so gross, dass der Grundton der Luftsäule dem primitiven Ton gleich ist, so tritt Mitklingen ein, auch wird die Resonanz nach WHEATSTONE stark seyn, wenn die Länge der Luftsäule ein Multiplum ist derjenigen Länge der Luftsäule, welche einen unisonen Grundton mit der Stimmgabel hat. Denn dann können sich in dem schallleitenden Körper Schwingungsknoten bilden. Ein Glasgefäss kann man durch Eingiessen von Wasser so stimmen, dass es den Ton der Stimmgabel stark oder schwach resonirt. Diess angewandt auf die Saiten und Felle, so ist zwar eine ganz schlaffe Saite, und eine ganz schlaffe Membran zur Resonanz ungeschickt, oder ungeschickter als eine gespannte, aber mit der Stärke der Spannung wird die

Resonanz nicht im geraden Verhältniss zunehmen können. Sie wird vielmehr bei gleich bleibender Masse des gespannten Körpers dann am stärksten seyn, wenn der Grundton des gespannten Körpers unison ist mit dem primitiven Ton.

Bei so kleinen Membranen, wie die Membrana tympani würde die specielle Anwendung nicht gut ausführbar seyn. Viel wichtiger wird hier die Frage, ob die Stärke der Mittheilung von der Luft an das Trommelfell mit der Spannnng des Trommelfells zu oder abnimmt.

Savart war der Erste und bis jetzt der Einzige, der sich auf dem Wege der Erfahrung mit der Beantwortung dieser Frage beschäftigt hat. Er beobachtete, dass das trockene Trommelfell bei Annäherung eines stark tönenden Körpers aufgestreuten Sand stärker abwarf, wenn es schlaff, als wenn es gespannt war, und schloss daraus, dass das Hören durch stärkere Spannung des Trommelfells gedämpft werde. *Ann. d. chim. et phys.* 26. Savart beobachtete denselben Erfolg, wenn er eine Membran durch einen aufgesetzten Hebel stärker spannte. Wenn ich ganz dünnes Papier auf einen Becher spannte, sah ich denselben Erfolg, den Savart beobachtete. Indessen lässt sich aus dem starken Abwerfen des Sandes nicht sicher auf die Intensität der Stösse schliessen. Muncke (Gehler's *physic. Wörterb.* 4. 2. *p.* 1210. 8. *p.* 501.) bemerkt, dass das Hüpfen des Sandes ohne von der Intensität der Bebungen herzurühren, auch bloss von weiterer Ausdehnung, Amplitudo der Bebungen entstehen könne und dass der die Spannung bewirkende Hebel einen Knoten in der Membran bilde, der die Breite der schwingenden Theile verkürze. Auch von Fechner wurde die Richtigkeit der Schlussfolge von Savart in Zweifel gezogen. Unter diesen Umständen schien es mir von grossem Interesse, directe Versuche über die Schallleitung kleiner Membranen im schlaffen und gespannten Zustande mit Benutzung des eigenen Gehörs als Messers der Stärke der Schallleitung anzustellen.

Eine hölzerne Röhre von 8 Linien Durchmesser des Lumens und 4 Zoll Länge, *a* läuft an dem einen Ende in einen schmälern Hals *c* aus, welcher so eingerichtet, dass er tief und fest in den äussern Gehörgang eingesetzt werden kann. Dieses engere Ende ist offen. Das andere Ende *b* ist mit einer Membran schlaff überzogen. Auf die Membran *c* ist ein dünnes Stäbchen *e* von 2 Lin. Breite so aufgeleimt, dass das Stäbchen bis über die Mitte der Membran reicht und dass das grössere Ende frei absteht. Wo das Stäbchen auf dem mit Membran bedeckten Rande des Rohrs aufliegt, ist es durch ein Band auf das Rohr festgehalten, wodurch ein Gelenk entsteht. Wird das Ende *e* erhoben, so wird das auf der Membran aufliegende Ende gesenkt, die Membran eingedrückt und gespannt. So gleicht der Apparat im Allgemeinen den natürlichen Verhältnissen und das Stäbchen mag den Hammer vorstellen. Wurde nun das engere



Ende des Apparats ins Ohr fest eingesetzt, und das andere Ohr durch einen Stopfen von gekautem Papier fest geschlossen, so konnte die Stärke der Schallleitung bei grösserer und geringerer Spannung leicht verglichen werden. Durch eine ganz kleine Oeffnung in der Röhre bei *d* kann man auch noch den Einfluss der Eustachischen Trompete anbringen, und die Luft im Innern des Rohrs ins Gleichgewicht mit der äussern Luft setzen. Der Erfolg bleibt sich indess im Allgemeinen gleich, und es ist besser die Oeffnung weg zu lassen, weil durch dieselbe auch Schallwellen ins Innere des Rohrs und zum Ohr gelangen können, ohne durch die Membran durch zu gehen. In allen Fällen wurde der gleiche Erfolg beobachtet. Die Schallleitung war viel stärker bei schlaffer Membran, als wenn durch Heben des Stäbchens die Membran gespannt wurde. Als tönender Körper kann eine Taschenuhr benutzt werden. Indess jedes Geräusch wird stärker bei schlaffer Membran gehört, und die Dämpfung nimmt in geradem Verhältniss mit der Spannung der Membran zu.

Man kann aber auch sein eigenes Trommelfell stärker spannen und denselben Einfluss erfahren. Das Trommelfell kann man am Cadaver, abgesehen vom Anziehen des Hammers, auf doppelte Weise stärker spannen: 1) wenn die Luft in der Trommelhöhle von der Eustachischen Trompete aus durch Saugen verdünnt wird, 2) wenn die Luft der Trommel durch Blasen in die Trompete verdichtet wird. Im ersten Fall wird das Trommelfell von aussen nach innen gedrückt, im zweiten Fall von innen nach aussen gedrückt, ohne dass im letzten Falle der Stiel des Hammers nachgiebt, so dass die Mitte des Trommelfells auch bei der Ausweichung nach aussen ihre Stelle behauptet.

Beide Arten der Spannung des Trommelfells kann man auch leicht am lebenden Körper, an sich selbst bewirken, entweder, indem man bei zugehaltener Nase und Mund stark und anhaltend ausathmet, oder indem man unter denselben Umständen stark und anhaltend die Brust durch die Inspirationsbewegung ausdehnt. Im ersten Falle wird die verdichtete Luft mit einem Gezisch in die Trommelhöhle getrieben, augenblicklich hört man schlecht. Dieselbe Schwerhörigkeit tritt ein bei der Spannung des Trommelfells nach innen durch Einathmen. Die letztere Thatsache ist von Wollaston (*Phil. Transact.* 1820.) zuerst beobachtet. Da im letztern Falle die Schwerhörigkeit auch nach dem Oeffnen des Mundes noch fortdauert, indem wegen Collapsus der Wände der Trompete durch das vorhergehende Einathmen, das Gleichgewicht nicht eintreten kann, so hat man auch Gelegenheit zu bemerken, dass auch die eigene Stimme bei stärkerer Spannung des Trommelfells schwächer gehört wird. Habe ich die stärkere Spannung des Trommelfells durch Verdichtung der Luft der Trommelhöhle bewirkt, so tritt bei der Wiedereröffnung des Mundes oder der Nase gewöhnlich schnell wieder das Gleichgewicht der Luft der Trommel und der äussern Luft ein, und das Gehör stellt sich gewöhnlich sogleich her. Nur zuweilen erfolgt die Herstellung erst allmählig. Habe ich hingegen die Spannung des Trommelfells durch Verdünnung der Luft der Trommel bewirkt, so dauert die Schwerhörigkeit ge-

wöhnlich sehr lange an, und während der ganzen Zeit fühle ich sehr deutlich eine Spannung im Trommelfell. In beiden Fällen kann ich die Schwerhörigkeit und fühlbare Spannung des Trommelfells, wenn sie nicht von selbst bei Oeffnung des Mundes vergehen, durch eine eigene Bewegung im Ohr wieder verschwinden machen, von der ich hernach beweisen werde, dass es eine willkührliche Bewegung des Musculus tensor tympani ist. Wahrscheinlich geschieht die Herstellung oder Wiederöffnung der zusammen liegenden Wände der Eustachischen Trompete durch leichte Compression der Luft der Trommelhöhle, vermöge der Anziehung des Trommelfelles durch den Musculus tensor tympani. Wer diese Bewegung des Tensor tympani nicht machen kann, kann die, auf die angezeigte Weise hervorgebrachte Schwerhörigkeit leicht durch die entgegengesetzte Ursache aufheben. War die Schwerhörigkeit durch Auswärtstreiben des Trommelfells hervorgebracht, so athme man bei zugehaltener Nase und Mund gewaltsam ein, und umgekehrt im umgekehrten Falle.

Wird die äussere Luft oder die Atmosphäre stark verdichtet, ohne dass die Luft der Trommelhöhle wegen Aneinanderliegen der Wände der Trompete sogleich ins Gleichgewicht mit der äussern Luft tritt, so wird natürlich das Trommelfell nach einwärts getrieben und gespannt, und dann Schwerhörigkeit eintreten. So muss man meines Erachtens die räthselhafte Beobachtung von Colladon in der Taucherglocke erklären, wo er die Stimme seiner Gefährten, sowohl als seine eigene Stimme nur schwach hörte. Aus schlechter Schallleitung der verdichteten äussern Luft, wie Einige den Erfolg erklärt haben, lässt sich jene Thatsache nicht einsehen. Denn verdichtete Luft leitet den Schall besser.

Die Schwerhörigkeit, welche durch grössere Spannung des Trommelfells eintritt, ist keine ganz allgemeine für die hohen und tiefen Töne zugleich. Wollaston hat vielmehr beobachtet, dass wenn er die Spannung des Trommelfells durch Verdünnung der Luft der Trommelhöhle verstärkte, er nur taub für die tiefen Töne wurde. Schlug er einen Tisch mit der Spitze seines Fingers an, so gab das Brett einen dumpfen tiefen Ton, schlug er ihn mit dem Nagel an, so entstand ein höherer durchdringender Ton. Bei der Verdünnung der Luft in der Trommelhöhle hörte er nur den letztern Ton, nicht den tiefen. Das dumpfe, tiefe Gerassel eines Wagens wurde bei der Luftverdünnung und Spannung des Trommelfells nicht mehr wahrgenommen, aber das Geklirr der Ketten und andern Eisenwerkes am Wagen wurde auch dann sehr scharf gehört. Diese Versuche sind vollkommen richtig und ich glaube, dass sie jeder an sich wird bestätigen können, der sich hinreichend übt. Es ist übrigens zu bemerken, dass die Spannung des Trommelfells durch Luftverdichtung ganz denselben Erfolg hervorbringt. Das dumpfe Dröhnen beim Fahren der Wagen über eine Brücke oder der Kanonen in der Nähe meiner Wohnung, der Schlag ferner Trommeln verschwinden bei der Spannung des Trommelfells auf die eine oder andere Weise augenblicklich, aber das Trippeln der Pferde auf dem Steinpflaster, das feinere Geknarr der Wagen, das Knistern an Papier höre ich sehr scharf

bei gespanntem Trommelfell. Sehr auffallend ist der Erfolg beim Picken einer 8 Fuss von mir entfernten Taschenuhr. Diess höre ich bei gespanntem Trommelfell durchaus so scharf, wie im gewöhnlichen Zustande, vielleicht noch schärfer, während bei dieser Spannung augenblicklich aller dumpfe Lärm der Strasse stumm wird.

Die Erklärung dieser Erscheinungen ist aus dem vorausgeschickten leicht. Je mehr das Trommelfell gespannt wird, um so mehr würde sein Grundton und alle Töne, die es selbst mit Schwingungsknoten angeben könnte, sich erhöhen, in demselben Grade würde aber auch seine Fähigkeit zu vollkommenen Mitschwingungen für tiefere Töne abnehmen. Je mehr ein Ton dem Eigenton des sehr gespannten Trommelfells homolog ist, um so leichter wird er auch im gespannten Zustande des Trommelfells noch gehört werden.

Bei dieser Gelegenheit lässt sich eine Anwendung auf die Pathologie machen. Es kömmt nicht ganz selten vor, dass Schwerhörige bloss die Fähigkeit zum Hören tieferer Töne verloren haben, während sie die Fähigkeit für hohe, wenn auch schwache Töne behalten. Ein schwerhöriger College von mir hört hohe Töne besser als tiefe. In einem solchen Fall lässt sich eine zu starke Spannung des Trommelfells als sehr wahrscheinlich vermuthen. Dieser Umstand kann in der dunkeln Diagnostik der Ohrenkrankheiten als wichtiges Moment benutzt werden. Diese zu starke Spannung kann natürlich auf mehrfache Weise verursacht werden, 1) durch Verschliessung der Eustachischen Trompete. Die Luft der Trommelhöhle kann sich dann vermöge der Körperwärme ausdehnen, sie kann auch theilweise resorbirt werden, in beiden Fällen muss aber das Trommelfell entweder nach aussen oder innen stark gespannt werden. 2) Contractur des Musculus tensor tympani. Bei meinem Collegen ist die Trompete frei, denn er kann Luft in die Trommelhöhle blasen. Im ersten Fall, wenn die Spannung des Trommelfells entweder durch Ausdehnung der Luft der Trommelhöhle oder Resorption derselben entstanden ist, wird begreiflicherweise die Operation der Anbohrung des Trommelfells oder des Zitzenfortsatzes der Trompete, von Nutzen für die Schwerhörigen seyn, im zweiten Fall hingegen wird sie nichts nützen. Hieraus erklärt sich zum Theil schon der so verschiedene Erfolg jener Operationen.

Der Antheil des Musculus tensor tympani an der Modification des Hörens lässt sich jetzt aus den aufgestellten Principien beurtheilen.

Darf man als sehr wahrscheinlich annehmen, dass der Musculus tensor tympani bei einem sehr starken Schall, ebenso durch Reflexbewegung in Thätigkeit tritt, wie die Iris und der Orbicularis palpebrarum bei einem sehr starken Lichteindruck, indem die Reizung von den Sinnesnerven zum Gehirn, vom Gehirn zu den motorischen Nerven verpflanzt wird, so ist einleuchtend, dass bei sehr starkem Schall durch Reflexbewegung dieses Muskels eine Dämpfung des Gehörs eintritt. Der starke Schall bewirkt schon durch Reflexion Nicken der Augenlieder und bei nervenreizbaren Personen

ein Zusammenfahren vieler Muskeln. Die genannte Annahme ist daher sehr wahrscheinlich *). Bei stärkerer Spannung des Trommelfells durch den Tensor tympani, aus was immer für einer Ursache, muss ferner die Fähigkeit zum Hören tiefer Töne mehr abnehmen, als für das Hören hoher Töne.

Hier kömmt nun zur Frage, ob der Musculus tensor tympani auch der Willkühr unterworfen sei. Nach meinen Beobachtungen verhält sich dieser Muskel, wie auch der Stapedius, mikroskopisch, wie alle animalischen Muskeln, er besitzt nämlich die regelmässigen Querstreifen seiner primitiven Bündel. Die sogenannten Laxatoren sind dagegen keine Muskeln. Im sogenannten Musculus mallei externus konnte ich keine Charactere der Muskeln erkennen, welche im Tensor tympani so deutlich sind, und er ist blosses Band. Aber die beiden wirklichen Muskeln der Gehörknöchelchen gehören ohne allen Zweifel dem animalischen System an. Zwar haben die Muskeln des Gefässsystems, Herz und Lymphherzen, auch Querstreifen, und dieser Character gehört ausser den animalischen Muskeln, die sich aus dem äussern Blatt der Keimhaut entwickeln, auch denjenigen an, welche sich aus der mittlern oder Gefässschicht der Keimhaut bilden. Aber die organischen Muskeln der Eingeweide sind constant ohne Querstreifen der primitiven Bündel der Fasern. Da ferner die kleinen Muskeln des äussern Ohrs willkührlich sind (ich bewege sie, namentlich den M. antitragicus, deutlich), so ist kein Grund vorhanden den Muskeln der Trommelhöhle eine gleiche Stellung abzusprechen. Dafür spricht auch der Ursprung des Nervus tensor tympani vom dritten Ast des Trigeminus, nämlich vom Nervus pterygoideus internus und der Ursprung des Nervus stapedius vom Nervus facialis.

Die willkührliche Bewegung des Musculus tensor tympani lehrte schon Fabricius ab Aquapendente. Fabricius behauptete durch willkührlichen Einfluss auf den Tensor tympani einwirken zu können, indem er willkührlich ein Geräusch im Ohr erregen konnte. Er konnte die Bewegung nur gleichzeitig in beiden Ohren zugleich verursachen. Mayer kannte einen Gelehrten, der die Bewegung seiner Gehörknöchelchen so sehr in seiner Gewalt hatte, dass man sogar das feine Geknirsche deutlich hören konnte, wenn man das Ohr dicht an das seine legte. Vergl. Lincke *Handbuch der Ohrenheilkunde. Leipz.* 1837. *I. p.* 472. Ich besitze denselben willkürlichen Einfluss in beiden Ohren, stärker auf das linke, kann den Einfluss auch auf das linke Ohr isoliren. Das Geräusch besteht in einem Knacken, wie das Knistern des electrischen Funkens, oder wie wenn man die klebrig gemachte Fingerspitze auf Papier drückt und dann plötzlich abzieht. Verstopft sich

*) Ein sehr starker Schall, wie der einer Kanone, wenn er in der Nähe derselben gehört wird, kann übrigens auch durch die Einbeugung des Trommelfells einen Eigen-Ton des Trommelfells hervorbringen. Diess glaube ich wenigstens an mir bemerkt zu haben. Ich empfand bei dem Schall der Kanone zugleich einen Ruck, ähnlich, wie man ihn hört, wenn man plötzlich bei zugehaltener Nasen- und Mundöffnung durch Inspiration das Trommelfell nach einwärts spannt.

Jemand die Ohren, und hält einen Stab an sein verstopftes Ohr und an das meinige, so hört er das Knacken. Er hört es auch, wenn er sein offenes Ohr an das meinige legt, und sogar in einiger Entfernung bis zu 1—2 Fuss. Einer hörte das Knacken in meinem Ohr ohne Stab bei offenen Ohren bis auf 3 Fuss Entfernung, wenn mein Ohr in der Direction des Hörenden stand. Bei jeder Bewegung, die ich im Ohr hervorbrachte, gab er den Erfolg an. Es ist nun der Beweis zu führen, dass dieses Geräusch wirklich durch die Zusammenziehung des Tensor tympani und seine Wirkung auf das Trommelfell hervorgebracht wird, indem er es nach innen zieht, was einem Stoss von aussen gleich ist. Dafür spricht schon der Umstand, dass wenn ich, bei zugehaltener Nase und Mund, Luft durch die Trompete treibe, ich ausser dem, von dem Andrang der Luft gegen das Trommelfell hörbaren Summen, auch zuweilen noch das mir so wohlbekannte Knacken in dem Momente höre, wo ich mit dem Druck nachlasse, wo also das Trommelfell wieder in seine Lage kömmt. Dieser Ton kann auch von einer zweiten Person gehört werden. Von besonderem Interesse wurde mir die Untersuchung der Mundhöhle, während ich das willkührliche Knacken im Ohr hervorbringe. Bei Untersuchung des Mundes und Rachens mit dem Spiegel sehe ich, dass ich zugleich die oberen Gaumenmuskeln bewege, indem sich der Gaumen jedesmal zugleich erhebt. Diess führt auf die Vermuthung, dass das Geräusch davon abhängt, dass durch Erhebung des Gaumens ein Luftstrom nach den Oeffnungen der Eustachischen Trompeten bewirkt wird. Indess wird diese Ansicht dadurch widerlegt, dass ich die stärkste Erhebung des Gaumens von dem Geräusch völlig isoliren kann. Singe ich z. B. bei weit vor dem Spiegel geöffnetem Mund, so sehe ich, dass bei hohen und selbst leisen Fisteltönen der Gaumen sich ganz hoch erhebt. Diess geschieht ohne das fragliche Geräusch in den Ohren. Während dieser Erhebung des Gaumensegels kann ich aber nach Willen das Geräusch in den Ohren hervorbringen. Hieraus widerlegte ich mir zugleich den Einwurf, dass wegen des Ursprungs der obern Gaumenmuskeln zugleich vom knorpeligen Theil der Eustachischen Trompete durch die Zusammenziehung dieser Muskeln und durch die Zerrung der Trompete ein Ton entstehe, welcher zum Gehörorgan geleitet werde. Diese Idee ist auch schon deswegen unstatthaft, weil die Bewegung nicht bloss von mir, sondern das Knacken auch von Andern auf mehrere Fuss Entfernung gehört wird. Die Bewegung scheint also eine willkührliche Zusammenziehung des Tensor tympani zu seyn.

Ausser dem Knacken bringe ich willkührlich auch noch einen zweiten Ton im Gehörorgan, und zwar auf beiden Seiten hervor. Er ist brummend und kann über eine Secunde und mehr angehalten werden. Er entsteht auch mit Erhebung des Gaumensegels, und scheint in der That von der Zusammenziehung der Gaumenmuskeln herzurühren. Dies Brummen tritt zuweilen beim Gähnen und Aufstossen ein, auch wenn dieses willkührlich hervorgebracht wird. Unter den Bewegungen, welche das Knacken als Mitbewegung hervorbringen, ist bei mir das Schlingen zu nennen;

aber das Knacken ist nicht immer nothwendig damit verbunden. Während ich den knackenden Ton hervorbringe, höre ich übrigens nicht merklich undeutlicher. Der davon wohl zu unterscheidende brummende Ton stört das Hören.

Ein unwillkührliches Zucken des Musculus tensor tympani muss auch ein Geräusch im Ohr hervorbringen. Mancher wird leicht solche Töne im Ohr vernommen haben. Vergl. Lincke a. a. O. p. 481.

Die Wirkung des Musculus stapedius beim Hören ist unbekannt. Er zieht den Steigbügel so, dass sein Fusstritt schief im ovalen Fenster steht, indem er auf der Seite des Zuges ein wenig tiefer in das Fenster eintritt, und ebenso viel auf der andern Seite heraustritt. Die einzige Wirkung, welche man ihm demzufolge zuschreiben könnte, wäre meines Erachtens eine Spannung des Häutchens, welches den Fusstritt des Steigbügels mit dem Fenster verbindet.

c. Ovales und rundes Fenster.

Die Leitung durch zwei Fenster ist keine nothwendige Bedingung zum Gehör bei den in der Luft lebenden Thieren mit Trommelhöhle. Denn wie die vorher erzählten Versuche zeigen, lässt sich dem Wasser, sowohl durch eine gespannte Membran (Membrana tympani secundaria), als durch einen beweglichen festen Körper, der mit einer gespannten Membran verbunden ist, der Schall intensiv mittheilen. Auch die vergleichende Anatomie liefert diesen Beweis. Denn die Frösche haben bei einem sonst vollständigen Tympanum kein zweites oder rundes Fenster, sondern nur die Leitung durch die Kette der Gehörknöchelchen. In diesem Falle kommt die Luft der Trommelhöhle als Leiter kaum in Betracht, da sie an die festen Theile des Gehörorgans ihre Wellen nicht in einiger Stärke abzugeben vermag. Sie dient hauptsächlich zur Isolirung der Gehörknöchelchen und des Trommelfells.

Sind beide Fenster gleichzeitig mit einer Trommelhöhle vorhanden, so verursachen sie eine doppelte Leitung, durch feste Körper und durch Membran auf Wasser, welche beide intensiv sind, wie meine Versuche zeigen. Diese muss natürlich das Gehör verstärken. Denn nun kommen von zwei nebeneinander liegenden Stellen kreisförmige Wellen ins Labyrinthwasser, welche noch dazu durch Kreuzung stärkere Verdichtungen oder Wellenberge an den Kreuzungsstellen verursachen.

Es entsteht hier die Frage, welche Leitung stärker sei, diejenige vom Trommelfell durch die Gehörknöchelchen zum ovalen Fenster, oder diejenige vom Trommelfell durch die Luft der Trommelhöhle und die Membran des runden Fensters zum Labyrinthwasser.

Die Beantwortung dieser Frage bestand bisher meist in einem willkührlichen Stimmgeben. Einige läugneten die Leitung durch die Gehörknöchelchen, und beriefen sich auf das Hören nach Verlust der Gehörknöchelchen, wie es A. Cooper (*Phil. Transact.* 1801.

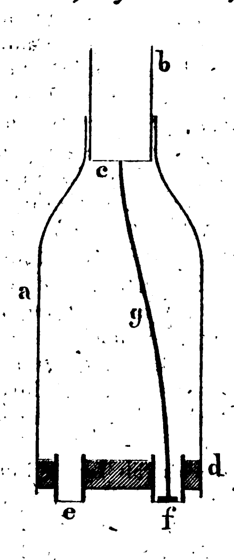
und schon früher Caldani, Cheselden beobachtet. Andere läugneten die Leitung durch das runde Fenster, weil nach zahlreichen Erfahrungen auf Zerstörung und Verlust der Gehörknöchelchen das Gehör verloren gehe. Siehe Haller *Elem. Physiol. V.* 285. Vergl. Lincke a. a. O. 465. Ein ausschliessliches Anerkennen einer Art der Leitung würde unstatthaft seyn, denn jeder leitungsfähige Theil thut, was er nach physikalischen Gesetzen muss. Es kann sich daher nur um den quantitativen Unterschied handeln. Eine kritische Uebersicht der Meinungen und Gründe gab Muncke in Kastner's *Archiv f. d. ges. Naturlehre.* 7. 1. Derselbe entscheidet sich zugleich für die stärkere Leitung durch die Gehörknöchelchen.

Muncke sagt; man denke sich, dass Jemand zwei gleich stark schlagende Taschenuhren in gleicher Entfernung vom Ohre, die eine durch einen knöchernen Stab damit verbunden, die andere in freier Luft schwebend halten wollte. Offenbar würde er die eine vollkommen, die andere gar nicht hören. Man dürfe nur den bekannten Versuch berücksichtigen, mit welcher Stärke man die Töne eines, an einem Faden hängenden und durch diesen mit dem Ohre verbundenen Löffels hört, welches durch die Luft geleitet, gar nicht wahrgenommen wird. Dieser Fall, welcher die stärkere Leitung durch die Gehörknöchelchen beweisen soll, hat aber keine vollkommene Aehnlichkeit mit dem, was bei der Fortpflanzung des Schalls durch die Trommelhöhle geschieht. Primäre Schallwellen fester Körper gehen allerdings mit der grössten Stärke unmittelbar auf einen festen Stab, der das feste Ohr berührt und so an dieses über, sehr schwach werden sie geleitet, wenn die Luft der Leiter primärer Schallwellen fester Körper ist. Nur ein primär in der Luft erzeugter Schall pflanzt sich viel stärker in der Luft, als aus der Luft auf einen festen Stab fort. Bei unserer Frage handelt es sich darum, ob Schallwellen, die in der Luft entstanden oder ihr mitgetheilt sind, und durch die Luft auf das Trommelfell gelangen, leichter von dem Trommelfell auf die Gehörknöchelchen oder auf die Luft der Trommel, und leichter von den Gehörknöchelchen auf das Labyrinthwasser, oder von der Luft der Trommel durch die Membrana tympani secundaria auf das Labyrinthwasser geleitet werden.

Diese Frage kann auch so ausgedrückt werden. Welche Leitung vermindert die Excursion der schwingenden Theile am wenigsten, die Leitung von der Luft auf eine gespannte Membran, von dieser auf einen begrenzten beweglichen festen Körper, von diesem auf Wasser, oder die Leitung von der Luft auf eine gespannte Membran, von dieser auf Luft, von dieser auf gespannte Membran, von dieser auf Wasser? Die Versuche, die ich darüber angestellt habe, beweisen sehr bestimmt als Thatsache:

V. Schwingungen, welche von der Luft auf eine gespannte Membran, von dieser auf frei bewegliche, begrenzte, feste Theile, von diesen auf Wasser verpflanzt werden, theilen sich sehr viel stärker dem Wasser mit, als Schwingungen, welche von der Luft auf dieselbe gespannte Membran, von dieser auf Luft, von dieser auf eine Membran und von dieser auf Wasser verpflanzt werden; oder auf die

Trommelhöhle angewandt, *dieselben Luftwellen wirken viel intensiver vom Trommelfell durch die Gehörknöchelchen und das ovale Fenster, als durch die Luft der Trommelhöhle und die Membran des runden Fensters, auf das Labyrinthwasser.*



Ich bildete den doppelten Leitungsapparat der Trommelhöhle in folgender Weise nach. Ein Glascylinder *a* von $2\frac{1}{3}$ Zoll Durchmesser und 6 Zoll Länge läuft an dem einen Ende in einen Hals aus, in dessen Mündung die hölzerne Röhre *b* von 8 Lin. Durchmesser Lumen luftdicht eingesetzt wird. Das äussere Ende *b* passt genau in das Ende der einfüssigen Messingpfeife. Das innere Ende der Röhre *b* ist mit einer gespannten Membran *c* (Schweinsblase) überzogen, welche das Trommelfell vorstellt, während *b* der Gehörgang ist. Der Glascylinder ist an seiner weitern Oeffnung mit einer dicken Korkplatte *d* geschlossen, sein Raum ist die Trommelhöhle. In zwei Löcher dieser Korkplatte, welche gleichweit vom Umfang des Cylinders entfernt sind, sind kurze hölzerne Röhrchen von 3—4 Linien Durchmesser des Lumens luftdicht eingesetzt. Beide Röhrchen sind am äussern Ende mit Membran geschlossen. Sie stellen die beiden Fenster vor. Nur die Membran des einen Röhrchens *f* ist mit der obern Membran am Anfang des Cylinders *c* durch ein Stäbchen *g* in Verbindung gesetzt. Dieses hölzerne Stäbchen, welches die Gehörknöchelchen vorstellt, berührt die obere das Trommelfell vorstellende Membran *c* nur in der Mitte, die untere Membran oder die des Röhrchens *f* aber im grössten Theil ihres Umfanges, indem das Stäbchen hier in eine Platte ausläuft, welche nur wenig kleiner ist, als die gespannte Membran des Röhrchens *f*. Das Stäbchen steht straff zwischen Trommelfell und der Membran des Röhrchens *e*, und hält beide etwas gespannt. So ist das Röhrchen *e* das runde Fenster mit der Membrana tympani secundaria, das Röhrchen *f* das ovale Fenster. Wird das untere Ende des Apparates in Wasser gehalten, auf das Rohr *b* die Pfeife aufgesetzt und geblasen, so ist die Leitung bis zum Wasser genau so, wie die doppelte Leitung der natürlichen Trommelhöhle zum Labyrinthwasser. Die Membran, welche das Trommelfell vorstellt, *c* erhält Wellen, welche sich aber sowohl durch den Stab *g* nach dem ovalen Fenster *f*, als durch die Luft der Trommel auf die Membran des runden Fensters *e* fortpflanzen, und zugleich ins Wasser übergehen. Lässt man an der Verbindungsstelle der grossen Korkplatte, worin die Fenster sind, mit dem Cylinder, zwischen dem Rand des Glascylinders und dem Kork eine Lücke, und hält das untere Ende des Apparates so ins Wasser, dass die Fenster das Wasser berühren, dass aber die letztgenannte Lücke in der Luft

ist, so steht die Luft im Cylinder zugleich, während der Leitung mit der äussern Luft in Communication. Dadurch kann man die Eustachische Trompete nachbilden. Der Erfolg ist aber ganz derselbe, wie wenn diese Communication nicht stattfindet.

Bei verstopften Ohren kann man nun mittelst eines in das Wasser und an das Ohr gehaltenen Conductors, während Jemand die Pfeife anbläst, die Stärke der Wellen, welche durch die beiden Fenster ins Wasser gelangen, durch sein eigenes Gehör prüfen. Die Verschiedenheit ist höchst auffallend. Die durch den Stab vom Trommelfell zum Wasser geleiteten Wellen sind ganz ausserordentlich viel stärker, als die von denselben Schwingungen des Trommelfells durch die Luft der Trommel, und die Membrana tympani secundaria zum Wasser geleiteten Wellen. Man vernimmt die starken Töne des ovalen Fensters bis in den Raum vor dem runden Fenster. Um daher den viel schwächern Antheil der Leitung des runden Fensters isolirt zu beobachten, ist es nöthig, den Stab aus dem Apparat herauszunehmen und das ovale Fenster, oder das Fenster des Stabs durch einen Stopfen ganz zu schliessen. Dann bemerkt man, dass die Leitung durch die Membran des runden Fensters wenig stärker ist, als durch die festen Theile der Korkplatte.

Ausser der Intensität können vielleicht die durch beide Fenster geleiteten Wellen desselben Tons auch in der Qualität, im Klang einigermassen verschieden seyn. Die Wellen, welche zum runden Fenster kommen, bleiben Luftwellen bis zu der Membran dieses Fensters. Die Wellen der Gehörknöchelchen sind Wellen fester Körper. Bekanntlich erhält aber ein und derselbe Ton ein anderes Timbre, je nachdem er von verschiedenen Körpern resonirt. Wie verschieden ist z. B. der Ton einer Stimmgabel, wenn man sie tönend frei über eine mit Luft gefüllte Schale, oder nahe den Wänden der Schale selbst hält. Wie verschieden klingt eine Glocke im Wasser, wenn man den Ton durch einen Stab aus dem Wasser, oder durch die Luft aus dem Wasser hört. Im ersten Fall ist er klangvoll, im letztern klanglos. Directe Versuche über jene qualitative Verschiedenheit sind schwer, da die Töne der beiden Fenster an jenem Apparat jedenfalls gleich stark seyn müssten, um ihren Klang sicher zu vergleichen. Die angestellten Versuche sind aber jener Hypothese eher günstig, als nachtheilig.

Die durch das ovale Fenster geleiteten Wellen wirken näher auf den Vorhof und die halbcirkelförmigen Canäle, die durch das runde Fenster geleiteten näher auf die Schnecke, aber auch die in den Vorhof gelangenden Wellen, welche sich kreisförmig ausbreiten, gelangen in die Schnecke, und überhaupt ist die Beziehung des runden Fensters zur Schnecke kein constantes Attribut dieses Fensters, da die Schildkröten das eine und andere Fenster, aber keine eigentliche Schnecke besitzen.

d. Tuba Eustachii.

Die Eustachische Trompete ist in allen Fällen vorhanden,

wo die Trommelhöhle da ist. Dass sie für die Integrität des Gehörs von grosser Wichtigkeit ist, beweisen die Krankheiten der Tuba; bei ihrer Verstopfung entsteht immer Schwerhörigkeit und Ohrenbrausen. Ob sie aber unmittelbar zur Schärfe und Intensität der Leitung nothwendig ist, oder ob ihre Verstopfung mittelbar zur Veränderung des Gehörs wirkt, lässt sich aus den pathologischen Beobachtungen nicht schliessen. Begreiflich könnte die Veränderung des Gehörs eben so gross von Verschliessung der Trompete seyn, wenn diese Röhre bloss bestimmt wäre, die grössere Spannung des Trommelfells durch Verdichtung und Verdünnung der Luft der Trommel, zu verhüten, oder wenn sie die Bestimmung hätte, den in der Trommelhöhle erzeugten Schleim durch ihre Wimperbewegung abzuführen. Anfüllung der Trommelhöhle mit Schleim muss alle Vortheile der Leitung dieses Apparates aufheben.

Die Zwecke, welche man der Trompete hypothetisch beilegen kann und beigelegt hat sind folgende, wir wollen sie nach einander untersuchen.

1) Einige glauben, wiewohl unrichtig, dass ein eingeschlossener Luftraum nicht zur Fortleitung der Schwingungen geeignet sei. Saunders (*anat. of the human ear*) sagt: die Luft der Trommelhöhle könne bei Verschliessung der Tuba nicht ausweichen, als durch Condensirung, und hebe die Schwingungen wieder auf. Muncke bemerkt mit Recht, dass diese Vorstellung den physicalischen Gesetzen widerspricht. In der That ist keinerlei Ausweichung zur Fortleitung des Stosses nöthig.

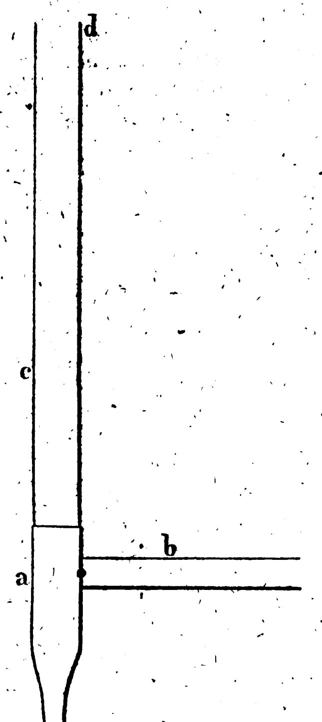
2) Noch eher könnte an das Gegentheil jener Ansicht nach physicalischen Principien gedacht werden. Denn sieht man von der Leitung durch die Gehörknöchelchen ab, und vergleicht man den Luftraum des Gehörganges und der Trommel der Luftsäule eines sogenannten Communicationsrohrs, worin die Schallwellen ungeschwächt zusammengehalten werden, so müsste hier, wie in einem Communicationsrohr, eine seitliche Oeffnung eine theilweise Ausbreitung der Wellen nach aussen bewirken, und bei einem zu heftigen Stoss diesen Eindruck, so weit er von der Luft auf das runde Fenster wirkt, dämpfen.

3) Andere sehen die ungleiche Dichtigkeit der Luft in und ausser der Trommelhöhle für ein Hinderniss des Gehörs an, wie Muncke a. a. O. 26. Auch diese Meinung kann ich nicht theilen. Die Fortleitung des Schalls durch ungleich dichte Luftschichten scheint wohl den Schall zu schwächen, aber sobald zwei gleiche Luftschichten durch einen festen Körper, wie das Trommelfell getrennt sind, so ist der dreifache Unterschied der Media schon vorhanden. Die Stosswelle geht aus der Luft an Membran, von Membran an Luft über, und es kömmt nicht in Betracht, in wie weit die innere Luft von der äussern verschieden sei, sondern in wie weit die innere Luft geeignet sei, die Welle aus der Substanz des Trommelfells aufzunehmen. Denn die innere Luft empfängt die Verdichtung nicht von der äussern, sondern vom Trommelfell.

4) Die Tuba ist bestimmt, das Mitklingen der Luft der Trommelhöhle zu hindern. Diese Ansicht ist wohl am wenigsten statt-

haft. Denn ein Luftraum resonirt, mag der Behälter an einem Ende oder an beiden Enden offen seyn. Die einfache Resonanz wäre eher ein Vortheil, als ein Nachtheil. Nur das Mitklingen eines Luftraums in seinem eigenen Tone wäre nachtheilig. In Hinsicht des Mitklingens der Lufträume ist zu bemerken, dass die Luft einer offenen Röhre als schwingende Säule der Hälfte einer doppelt so grossen Säule einer gedeckten Röhre zu vergleichen ist.

5) Sie ist bestimmt die Resonanz zu verstärken. Unter diesem Gesichtspunct lässt sich die Ansicht von Henle betrachten, welcher die Oeffnung der Trompete in die Trommelhöhle den Löchern im Resonanzboden vergleicht, welche zu einem klangvollen Ton der Geige so nothwendig sind. *Encyclop. Wörterb. d. med. Wissensch.* Gehör. Sie sind die Ursache, dass ausser dem Resonanzboden der Geige, auch die Luft ihres Kastens resonirt. So würde die Luft der Mundhöhle und Nasenhöhle für das Gehör resonirend werden, wenn auch die Töne durch den äussern Gehörgang zum Ohr kommen. Diese Art der Wirkung lässt sich im Allgemeinen nicht in Abrede stellen. Directe Versuche über die resonirende Wirkung von Seitenröhren, die auf eine kurze Hauptröhre angesetzt werden, und durch eine Oeffnung damit communiciren, sind dieser Idee auch günstig. Der Schall einer Stimmgabel, die über die Oeffnung einer kurzen Röhre (4 Zoll lang, 1 Zoll breit,) mit 2 Fuss langer Seitenröhre) gehalten wurde, schien mir stärker, als wenn der Ton der Gabel bloss von der Luft der kurzen Röhre mit kleiner Seitenöffnung resonirt wurde. Ist die Oeffnung sehr klein, so scheint kein Einfluss statt zu finden.



Auch direct lässt sich untersuchen, ob bei einer so engen Oeffnung, wie die Eustachische Trompete, der Einfluss nicht wieder grösstentheils aufgehoben wird. Auf folgende Weise lässt sich der Leitungsapparat der Trommelhöhle mit der Tuba roh nachbilden.

Eine hölzerne Röhre *a* von 8 Linien Durchmesser und 3 Zoll Länge, ist an dem einen Ende mit Membran überzogen, am andern Ende verengt sie sich, so dass sie tief in den Gehörgang eingeschoben werden kann. An der Seite der Röhre, welche die Trommelhöhle vorstellt, ist eine sehr kleine Oeffnung, an dieser Stelle kann das Seitenrohr *b* angesetzt werden. Das Rohr *c* dient als äusserer Gehörgang, in dasselbe kann *a* fest und schliessend eingesetzt wer-

den. Als Ton kann jedoch kein frei in der Luft entwickelter Schall benutzt werden, weil dieser sowohl durch das Rohr *b* als *c*, und wenn das Seitenrohr *b* weggenommen ist, durch die kleine Oeffnung in die Trommel *a* eindringen würde. Der Schall muss daher in dem Rohr *c* auf eine Weise erregt werden, dass er ausser dem Rohr *c* sich wenig ausbreitet. Hierzu fand ich am zweckmässigsten, dass eine Person die Lippen dicht an die Mündung des Rohrs *d* ansetzt, und bei zugleich zugehaltener Nase die Zähne der Ober- und Unterkinnlade auf einander schlagen lässt, während der Schall von den Zähnen sich der Luft des Rohrs mittheilen kann. Dann verbreitet sich der Schall wenig in den Wänden des Rohrs, wegen der weichen Theile der Lippen, aber durch die Luft des Rohrs *c* zur Membran und in die Luft der Trommel. Habe ich nun die Trommel mit dem engen Theil des Rohrs in mein Ohr fest eingesetzt, so vergleiche ich die Stärke des Schalls bei zugehaltener Seitenöffnung der Trommel, bei offener Seitenöffnung und bei eingesetztem Seitenrohr *b*. Ist die Seitenöffnung, welche die Tubamündung vorstellt, durch den Finger verschlossen, so ist der Schall der Zähne dumpfer, als wenn sie offen ist, aber die Stärke ist wenig oder gar nicht verschieden, viel geringer ist der Unterschied des Tons, wenn entweder das Seitenrohr *c* angesetzt wird, oder ohne das Rohr die einfache Oeffnung offen bleibt. Der Klang des Tons ist nämlich in beiden Fällen derselbe und es ist auch kein merklicher Unterschied der Stärke zu bemerken, wenigstens kein sicherer. Bei einer nur engen Oeffnung zwischen der Trommel und dem resonirenden Luftraum *b* verliert dieser daher ganz oder fast ganz seine Bedeutung, für einen Schall, der nicht direct auf ihn einwirken kann.

6) Die Tuba ist bestimmt die Leitung durch den Trommelhöhlenapparat von einem Hinderniss zu befreien, das eine ganz eingeschlossene Luft darbietet, indem entweder die Leitung des Trommelfells selbst in diesem Fall zu schwach, oder die Resonanz des Trommelfells und der Luft der Trommelhöhle zu gering ist. Diese Ansicht ist die gewöhnlichste von der Eustachischen Trompete. Itard erläuterte sie durch die Soldatentrommel, welche ohne Seitenloch in ihrer Wand nur einen dumpfen und gedämpften Ton habe. Dieses Beispiel kann nun freilich wenig aufklären, es hat gar keine Aehnlichkeit mit dem Verhältnissen, von welchen die Rede ist. Denn wenn eine Soldatentrommel einen stärkern Klang hat bei offenen Seitenloch, so ist es, weil jetzt die Luftschwingungen im Innern der Trommel nicht mehr bloss durch die Wände der Trommel und die Felle durchgehen, sondern durch den besten Leiter für Luftschwingungen die Luft selbst an die Atmosphäre und zum Ohr übergehen. Ueberdiess finde ich dazu den Unterschied äussert gering, wie es scheint kaum einigen Unterschied des Klanges, wenn das Loch einer kleinen Trommel offen ist oder geschlossen wird. An eine Vermehrung der Stärke des Tons durch diejenigen Wellen, welche durch die Luft des Mundes und der Trompete in die Trommelhöhle gelangen, lässt sich übrigens nicht denken. Denn der Gesunde hört bei geschlossener Mund- und Nasenöffnung eben so gut, als wenn sie offen sind.

Ich stellte mehrere Versuche über den als Thesis hingestellten Satz auf, welche ihm nicht eben günstig sind. Wurde eine vorn mit Membran geschlossene kurze Röhre, wie das blosse Stück *a* der vorigen Figur in das Ohr tief und fest eingesetzt, das zweite Ohr durch einen Stopfen von gekautem Papier ganz verstopft, so konnte ein an der Membran selbst erregter Schall ungeschwächt sich durch die Röhre fortpflanzen. Ein in der freien Luft erregter Schall konnte natürlich nicht benutzt werden. Denn dieser, wie der Ton einer Pfeife kann sich durch die Luft vermittelst der Seitenöffnung stärker der innern Luft der Röhre mittheilen, als durch die Membran. Erregt man nun durch einen Schlag mit dem Finger auf die Membran oder durch Reiben mit dem Finger an derselben einen Ton, so ist er jedesmal dumpf, wenn die Seitenöffnung mit dem Finger geschlossen wird, klarer und gleichsam schärfer, wenn die Oeffnung offen ist. Aber in der Stärke des Schalls konnte ich keinen deutlichen Unterschied bemerken; wenn die Membran nass war, so schien mir sogar der dumpfe Ton noch stärker bei geschlossener Seitenöffnung, als der klare bei geöffneter. Einen im Allgemeinen ganz ähnlichen Erfolg beobachtet man mit dem in der vorigen Figur erläuterten Apparat. Setzt Jemand die Lippen auf die Mündung des Rohrs *d*, und stösst die Zähne aufeinander, bei zugleich zugehaltener Nase, so hört man den Ton durch die Luft der Röhre und die Membran zwischen *c* und *a* sehr deutlich, wenn man *a* fest in sein eigenes Ohr steckt. Das Rohr *b* wird weggenommen. Der Ton ist dumpfer bei geschlossener, klarer bei offener Seitenöffnung. Aber ein merklicher Unterschied der Stärke ist nicht vorhanden.

Daher kann man wohl zugestehen, dass vielleicht eine gewisse Dumpfheit des Klanges von der Resonanz des Trommelhöhlenapparates durch die Tuba vermieden wird, aber die Verstärkung des Tons in der Weise, wie es in der Thesis ausgesprochen ist, kann man nicht zugeben.

Auch einige andere Versuche über das Hören mit oder ohne Verschliessung der Trompete stimmen damit überein. Ohnstreitig würde es das sicherste Mittel seyn, den Einfluss der Trompete kennen zu lernen, wenn man sich künstlich die Trompete so verstopfen lassen könnte, dass durch den Mechanismus nicht zugleich die Luft der Trommelhöhle verdichtet, und dadurch das Trommelfell gespannt würde. Aber diess ist nicht gut möglich, überdiess würde es immer eine Glaubenssache für den Experimentator seyn, wenn er sich die Tuba catheterisiren lässt, ob die Tuba wirklich durch die Sonde verstopft sey oder nicht. Man kann daher diese Idee, als der Physiologie wenig förderlich, sogleich aufgeben. Auch die pathologischen Beobachtungen geben keine Schlüsse zur Lösung des Problems an die Hand. Cheselden beobachtete nach Einspritzen von Wasser in die Tuba plötzliche Taubheit. Saunders hingegen beobachtete bei Schwerhörigen Verbesserung des Gehörs nach dieser Operation, die so lange dauerte, als die eingespritzte Flüssigkeit im Ohr behalten wurde. Dieser entgegengesetzte Erfolg scheint von etwas ganz Anderm als von blosser

Eröffnung oder Schliessung der Tuba herzurühren. Es kömmt hier vielmehr die Spannung des Trommelfells in Betracht, welche durch die Operation herbeigeführt wird oder wenn es vorher durch Rarefaction der Luft zu sehr nach innen gespannt war, die verminderte Spannung durch die vermöge der Injection bewirkte Compression der Luft der Trommelhöhle. Dagegen hat man ein anderes Mittel, sich die Tuba zu verstopfen und auch wieder weiter zu machen, bei gleicher, freilich starker Spannung des Trommelfells, nämlich das erste leistet das im vorigen §. beschriebene Verdünnen der Luft der Trommel durch starke Inspirationsbewegung bei zugehaltener Mund- und Nasenöffnung. Hierbei legen sich die Wände der Tuba an einander, diess erkennt man daran, dass die eingezogene, fühlbar gespannte Stellung des Trommelfells bleibt, bis man sie durch den beschriebenen Mechanismus aufhebt. Ferner kann man die Tuba weiter als gewöhnlich machen durch die Exspirationsbewegung bei zugehaltener Mund- und Nasenöffnung. Auch in diesem Fall wird das Trommelfell gespannt. Die Verhältnisse bleiben sich also (ausser der Dichtigkeit der Luft) ziemlich gleich. In beiden Fällen ist das Trommelfell gespannt, aber in dem einen die Tuba weit, in dem andern geschlossen. Nun hört man aber gleich schlecht in beiden Fällen.

7) Sie ist bestimmt zum Hören der Stimme. Diese Thesis scheint schon hinlänglich durch ältere Erfahrung, namentlich Schellhammer's Versuch widerlegt. Er brachte eine tönende Stimmgabel ins Innere des Mundes und sie ward nun fast gar nicht gehört. Vor dem mässig geöffneten Mund tönt sie sehr stark, wegen der Resonanz der Luft der Mundhöhle, wie eine über die Oeffnung einer Flasche gehaltene tönende Stimmgabel. Der resonirende Ton wird aber auch grossentheils durch die Leitung des äussern Ohrs zum Tympanum gebracht. Eine Uhr wird, im Mund frei und ohne Berührung der Zähne und Zunge gehalten, nicht leicht gehört. Volle Beweiskraft hat allerdings der Schellhammer'sche Versuch nicht. Denn der Ton der Stimmgabel wird, als von einem festen Körper kommend, schwer an die Luft abgegeben, beim Ton der Stimme erregen aber die primitiv tönenden Stimmbänder regelmässige Mitschwingungen der Luft, wie an jedem Zungenwerk. Man kann sich indess auch auf andere Weise überzeugen, dass der Einfluss der Tuba auf das Hören der Stimme äusserst gering ist. Man hat es, wie vorher beschrieben worden, durch die Respirationsbewegungen in seiner Gewalt, die Tuba zu schliessen und zu öffnen. Beim Ausziehen der Luft aus der Trommel oder bei der Verdünnung derselben mittelst Inspiration bei zugehaltener Mund- und Nasenöffnung schliesst sich die Tuba für einige Zeit, bei der Verdichtung der Luft der Trommel durch Exspiration bei verschlossenen Luftwegen wird sie noch weiter als gewöhnlich. Es kömmt also nur darauf an, bei verschlossener Mund- und Nasenöffnung in dem einen und andern Fall einen Stimmton hervorzubringen, was wenigstens als kurzes Gesumme nicht unmöglich ist. Man hört es in dem einen und andern Fall sehr deutlich und es ist wenig

Unterschied, es klingt bei erweiterter Trompete nur ein klein wenig stärker als im geschlossenen Zustande derselben. Unsere Stimme hören wir also sicher nicht vorzugsweise durch die Tuba; wir hören sie zum Theil durch den äussern Gehörgang. Vom Mund aus breiten sich kreisförmige Schallwellen aus, die hinteren Stücke dieser Kreise stossen auf die Concha und werden gegen den Tragus, von diesem in den Gehörgang reflectirt. Gerade für die günstige Reflexion der aus dem Mund ausgehenden Schallwellen hat die Concha des äussern Ohrs meines Erachtens die geeignetste Stellung. Dann aber wird unsere Stimme gehört durch die Schallleitung von der Luft an die Nasen- und Mundwände und sofort an die Kopfknochen und noch unmittelbarer durch eine blosse Kette fester Theile bis zum Labyrinth, nämlich von den Stimmbändern an durch die weichen und festen Theile des Halses und Kopfes. Wie wirksam diese Art der Leitung seyn muss, ergiebt sich aus der Hörbarkeit des ganz von festen Theilen unseres Körpers eingeschlossenen Geräusches, der Borborygmi im Darm und dergleichen. Noch besser bringt man sich das Hören unserer eigenen Stimme durch Leitung fester Theile zur Anschauung, wenn man bei verstopften Ohren einen Stab an sein eigenes Ohr, und auf den Kehlkopf eines sprechenden Menschen legt. Man hört dann die Stimme des Andern unter denselben Umständen, wie man seine eigene hört. Bei pathologischer Verschliessung der Tuba tritt zwar Schwerhörigkeit für äussere Töne ein, allein die eigene Stimme wird nicht schlecht gehört, wie Autenrieth und Lincke beobachteten. Autenrieth in Reil's *Archiv*. 9. 321. Lincke a. a. O. 502.

8) Die Tuba ist bestimmt, den Schleim der Trommelhöhle durch ihre Wimper-Bewegung auszuführen. Hieran lässt sich nicht zweifeln und es lässt sich auch die Schwerhörigkeit nach Verschliessung der Trompete zum Theil aus dem Anfüllen der Trommelhöhle mit Schleim erklären. Indess wird dies nicht der einzige Zweck der Trompete seyn.

9) Sie ist bestimmt, die Luft der Trommelhöhle mit der äussern Luft ins Gleichgewicht zu setzen und namentlich eine durch einseitig verdichtete oder verdünnte Luft entstehende, grössere Spannung des Trommelfells und die daraus erfolgende Schwerhörigkeit zu vermeiden. Diess halte ich für den Hauptzweck der Tuba als einer allgemeinen mit der Trommelhöhle und dem Trommelfell gleichzeitigen Erscheinung. Nicht die einseitige Verdichtung der Luft oder die Verdünnung der Luft kommt hierbei vorzüglich in Betracht (der Erfolg ist in beiden Fällen gleich), sondern die dadurch nothwendig herbeigeführte Spannung des Trommelfells, welche jedesmal Schwerhörigkeit verursacht. Und so ist auch wohl in vielen Fällen der Schwerhörigkeit von chronischer Verschliessung der Tuba durch irgend eine Krankheit der Nutzen des Catheterismus und sein Zusammentreffen mit der Perforation des Trommelfells und des Zitzenfortsatzes zu betrachten. Dabei läugne ich nicht die andern schon gewürdigten Vortheile und lege vielmehr zunächst noch den meisten Werth auf die erwähnte Mo-

dification des Klanges durch die Tuba, der dadurch von seiner dumpfen Resonanz befreit wird, auf die Versorgung der Trommel mit Luft, und ihre Erhaltung und die Ausführung der Secreta der Trommelhöhle.

Bei Menschen deren Tuba hinlänglich weit ist, muss sich das veränderte Gleichgewicht der Luft unmerklich herstellen, wenn die äussere Luft schnell an Dichtigkeit zunimmt, dass es aber in anderen Fällen nicht unmerklich geschieht, und vielmehr eine Zeitlang eine Störung des Gleichgewichtes eintreten kann, dafür kann man schon die Erfahrungen in der Taucherglocke anführen. Carus bemerkte beim Besteigen hoher Berge eine Spannung im Ohr, und nach einer gewissen zurückgelegten Höhe ein Knacken im Ohr, was sich ohngefähr auf 600 Fuss Höhenunterschied wiederholte. Carus in *Bericht über die Versammlung der Naturforscher in Jena.* In wie weit diess bei Andern sich in dieser Art wiederfindet, hängt natürlich zum Theil von individuellen Verhältnissen ab. Ich erinnere mich eigener Erfahrungen in diesem Puncte nicht. Ich würde übrigens das gestörte Gleichgewicht, ehe es zu einem Maximum käme, auf die schon beschriebene Weise durch willkührliche Action des Tensor tympani beseitigen, was bei mir auch ein Knacken hervorbringt.

Muncke nimmt an, dass die Membrana tympani secundaria des runden Fensters bei einem zu heftigen Stoss auf das Labyrinthwasser dazu diene, durch ihr Ausweichen den Eindruck zu dämpfen. Eine Ableitung des Schalls ist allerdings in einem Luftcanal oder Communicationsrohr möglich, wenn die Wände des Rohrs, welche die Wellen wegen der schwierigen Mittheilung zusammenhalten, eine Oeffnung haben, aber die Stosswellen des Wassers gehen sehr leicht an feste Körper über.

Aeusserer Gehörgang.

Der äussere Gehörgang ist bei der Schallleitung in dreifacher Hinsicht wichtig, erstens indem er die aus der Luft einfallenden Schallwellen durch seine Luft unmittelbar auf das Trommelfell leitet, und die Schallwellen zusammenhält, zweitens indem seine Wände die dem äussern Ohre selbst mitgetheilten Wellen auf dem nächsten Wege auf die Befestigungsorte des Trommelfells und so auf dieses selbst leiten, drittens insofern die im Gehörgang enthaltene begrenzte Luftmasse der Resonanz fähig ist.

Als Luftleiter empfängt er die directen Luftwellen, welche die stärkste Wirkung hervorbringen müssen, wenn sie in der Achse des Gehörganges einfallen. Fallen sie schief in den Gang ein, so werden sie durch Reflexion dem Trommelfell zugeleitet. Auf diese Weise erhält der Gehörgang auch durch Reflexion die gegen die Concha des äussern Ohrknorpels stossenden Wellen, wenn ihr Reflexionswinkel geeignet ist, sie gegen den Tragus zu werfen. Schallwellen der Luft, welche weder unmittelbar, noch durch Reflexion in den äussern Gehörgang gelangen, können noch zum Theil durch Beugung in ihn eintreten, z. B. Luftwellen, welche

die Richtung der Längsachse des Kopfes haben und an dem Ohre vorbeigehen, müssen nach den Gesetzen der Beugung an den Rändern des äussern Gehörganges in diesen umbiegen. Am stärksten werden indess jedenfalls die directen, weder reflectirten noch gebeugten Wellen seyn. Hierdurch vermag man die Direction des Schalles wahrzunehmen, wenn man den äussern Gehörgang in verschiedene Directionen bringt.

Als feste Leiter kommen ferner die Wände des äussern Gehörganges in Betracht. Denn diejenigen Wellen, welche sich dem äussern Ohrknorpel einmal mitgetheilt, ohne reflectirt zu seyn, gelangen auf dem kürzesten Wege durch die Wände des Gehörganges zum Trommelfell. Bei fest verstopften Ohren ist der Ton einer Pfeife stärker, wenn ihr mit Membran geschlossenes Ende auf den Ohrknorpel selbst aufgesetzt wird, als wenn sie die Oberfläche des Kopfes berührt.

Endlich ist auch der begrenzte Luftraum des Gehörganges als Resonator wichtig. Jeder begrenzte Luftraum resonirt. Man braucht die Röhre des äussern Gehörganges nur durch eine angesetzte andere Röhre zu verlängern, um sich von diesem Einfluss zu überzeugen. Jeder Ton, auch der Ton der eigenen Stimme wird dann viel stärker gehört. Werden längere Röhren angesetzt, so klingt die Luftsäule sogar nach Massgabe ihrer Länge in ihrem eigenen Tone mit, wie die Brüder Weber zeigten. Bei kleinen Luftsäulen hört diess Mitklingen auf, und sie bewirken blosse Verstärkung durch Resonanz.

Aeusserer Ohrknorpel.

Der äussere Ohrknorpel ist theils Reflector, theils Condensator und Leiter der Schallwellen. Als Reflector kömmt vorzüglich die Concha in Betracht, indem sie die Schallwellen der Luft gegen den Tragus wirft, von wo sie in den Gehörgang gelangen. Die übrigen Unebenheiten des Ohrs sind der Reflexion nicht günstig. Siehe Esser in Kastner's *Archiv* 12. Man könnte sie aber nur dann für zwecklos halten, wenn man den Ohrknorpel als Selbstleiter von Schallwellen ausser Acht liesse. Er empfängt Stösse der Luft und wirft sie als fester Körper theils wieder ab, theils leitet und condensirt er sie, wie es jeder andere feste und elastische Körper thun würde, wie Savart mit Recht hervorhebt. Er nimmt die Schallwellen in grosser Breite auf, und leitet sie auf seine Insertionsstelle. Das Fortschreiten des Stosses im Ohrknorpel kann man sich zufolge Savart's Untersuchungen über die Fortleitung des Stosses in Körpern mit verschiedentlich gestellten Zweigen, die ich oben auf die Fortleitung des Stosses in den Gehörknöchelchen anwandte, deutlich machen. Die dem Ohrknorpel mitgetheilte Stosswelle wird nicht dessen Biegungen folgen, sondern indem sie ihn in der ursprünglichen Richtung durchsetzt, werden die angrenzenden noch so verschiedenartig gestellten Theile des Ohrknorpels durchaus in derselben

Richtung vom Stosse fortgerissen. Diess geschieht von Theilchen zu Theilchen bis ins Innere des Ohrs, zum Trommelfell und den Kopfknochen. Wegen des Zusammenhanges der Wände des Gehörganges mit den festen Theilen des ganzen Kopfes, findet zwar Zerstreuung statt, aber die Befestigungsstellen des Trommelfells empfangen die Wellen auf dem kürzesten Wege, und theilen sie dem Trommelfell so gewiss mit, als die Wand einer Trommel einem Trommelfell, und der Steg einer Saite dieser selbst.

Fasst man nun aber den Ohrknorpel als Selbstleiter auf, so werden alle seine Unebenheiten, Erhabenheiten und Vertiefungen, welche in Beziehung auf Reflexion zwecklos sind, zweckmässig. Denn diejenigen Erhabenheiten und Vertiefungen, auf welche gerade die Schallwellen senkrecht sind, werden diese auch am stärksten aufnehmen. Die Unebenheiten sind aber so mannigfaltig, dass die Schallwellen, mögen sie kommen von wo sie wollen, auf die Tangente einer dieser Erhabenheiten senkrecht seyn werden. Auf diese Weise lässt sich der Zweck der wunderlichen Bildung des äussern Ohrs einsehen.

Das äussere Ohr der Thiere gleicht ganz einem willkührlich zu dirigirenden Hörrohr, in dem die Luftwellen in der Luft condensirt fortgehen, und dessen Wände zugleich Selbstleiter sind. Zugleich verlängert dasselbe die resonirende Luftsäule des äussern Gehörganges, wie ein Hörrohr *).

Resonirende feste Körper und Luft in der Umgegend des Labyrinthes.

Jeder begrenzte feste Körper und jede begrenzte Luftmasse ist in der Nähe des Labyrinthes ein Resonator. Unter diesem Gesichtspunct müssen nicht bloss die Kopfknochen, sondern alle in der Nähe des Gehörorganes liegenden Knorpel, Membranen, betrachtet werden.

Durch das Resoniren begrenzter Luftmassen wird unsere Stimme nicht bloss für andere, sondern auch für uns vernehmlicher. Jeder begrenzte Luftraum resonirt, wenn ein Ton angegeben wird. Wird die tönende Stimmgabel über die Oeffnung eines Medicinglases gehalten, so resonirt die darin enthaltene Luft sehr stark, während die Resonanz viel geringer ist, wenn die Gabel in die Nähe der Wände des Glases gehalten wird. Die Luft einer Röhre resonirt stark, mag sie an einem oder an beiden Enden offen seyn. Hält man die tönende Stimmgabel dicht vor den Mund, so ist die Resonanz ausserordentlich stark, und man hört sie sowohl selbst, als sie ein anderer hört **).

---

*) Man übersieht häufig, sowohl beim Hörrohr als Sprachrohr, die grosse Verstärkung des Schalls, durch die begrenzte, resonirende Luftsäule des Rohrs.

**) Die Resonanz klingt als u, wenn die Mundöffnung klein ist, als a, wenn sie grösser ist. Auch ist der Ton einer Stimmgabel, die über eine gleich weite, auf den Tisch aufgesetzte Röhre von 8 Lin. Durchmesser und 3½ Zoll Länge gehalten wird, wie u, wenn man die Oeffnung

Hält man dagegen die tönende Gabel tief in den weit offenen Mund hinein, so ist ihr Ton ausserordentlich schwach, sowohl für uns selbst, als für andere. Hiermit scheint in Verbindung zu stehen, dass Schwerhörige den Mund öffnen. Das Mithören durch die Eustachische Trompete kann hierbei gar nicht in Betracht kommen, da eben eine Stimmgabel in der Tiefe des Rachens so schwach gehört wird. Indess kann das Offenhalten des Mundes zum Hören bei Schwerhörigen noch mehr darin seinen Zweck haben, dass der knorpelige Theil des äussern Gehörganges beim Oeffnen des Mundes weiter wird, wie bereits Elliot bemerkt.

Jedenfalls hängt das starke Hören, wenn man sich durch eine Röhre an den Mund oder an die Nase sprechen lässt, zum Theil von der Resonanz der Lufthöhlen ab.

Auch die Luft des äussern Gehörgangs und der Trommelhöhle ist ein Resonator. Man bemerkt diess schon, wenn man den Gehörgang dadurch verlängert, dass man eine Röhre in den Meatus auditorius setzt. Nicht bloss hört man ein Rauschen von der Blutbewegung im Ohr, und den kleinen auch bei scheinbarer Ruhe in der Luft vorhandenen Bewegungen, welche ohne gerade nothwendig Schallwellen zu seyn, die Luft der Röhre, wie die einer Pfeife durch Blasen, zum Tönen bringen; sondern jeder Ton, sowohl der eigenen Stimme, als äusserer Körper ist mit einer schallenden Resonanz begleitet. So wie man das Factum bei Verlängerung des Gehörganges durch eine Röhre wahrnimmt, so bemerkt man es auch, bei Verkürzung der Luftsäule des Gehörganges durch einen tief eingesetzten Stopfen. Denn dann werden nicht bloss alle Töne äusserer Körper schwach gehört, wegen unterbrochener Luftleitung, sondern man hört eben so schwach den Ton der eigenen Stimme. Die Erklärung, dass nun keine Schallwellen aus dem Munde in den Gehörgang fallen, reicht nicht hin. Allerdings fallen die kreisförmigen Schallwellen von unserer Stimme, die sich von der Mundöffnung aus nach allen Richtungen verbreiten, bei offenem Gehörgang einigermassen durch Reflexion von der Concha des äussern Gehörganges und durch Beugung in diesen Gang. Man kann aber diesen Einfluss ganz neutralisiren, und die Stimme bleibt doch stark, wenn der ganze Gehörgang noch Luft enthält. Hält man sich die flachen Hände dicht vor beide Ohren, so dass keine Luftwellen unserer Stimme mehr in diese einfallen können, so hört man die eigene Stimme noch sehr stark. Denn hier ist noch die ganze resonirende Luftsäule des äussern Gehörganges vorhanden. Stopft man sich aber einen grossen Theil des Ganges durch den kleinen Finger oder einen Stopfen gekauten Papiers zu, so hört man die eigene Stimme nur sehr schwach. Die aufgehobene Resonanz der Luft des Gehörganges ist also zum Theil die Ursache, dass die eigne Stimme bei verstopften Ohren so schwach gehört wird.

---

durch die Hand verengt, mehr dem a ähnlich, wenn man die ganze Oeffnung der Röhre zulässt.

Leitung durch die Trommelhöhle und Leitung durch die Kopfknochen.

Die Schallleitung durch die Trommelhöhle theilt dem Labyrinthe einseitige Stösse durch die Fenster mit, von wo aus dann die Wellen sich im Labyrinthwasser verbreiten.

Die Leitung durch die Kopfknochen zum Labyrinth, welche bei den Knochenfischen die einzige ist, führt dem Labyrinthe von jeder Seite aus gleich leicht Schallwellen zu. Diese allseitige Zuleitung kömmt auch bei den Luftthieren vor, kann aber nur sehr schwach in der Luft seyn, weil die Mittheilung der Luftwellen an die festen Theile des Kopfes so schwer ist. Wir haben keine Gelegenheit, zu empfinden, wie stark die alleinige Leitung der Luftwellen durch die Kopfknochen seyn würde. Denn wenn wir auch die Ohren fest verstopfen, so leitet das Ohr die Luftwellen immer noch stärker, als die Kopfknochen, und die begrenzten Gehörknöchelchen machen einen stärkern Eindruck auf das Labyrinth, als die nicht isolirten Kopfknochen. Diese Verstärkung der Leitung durch die Gehörknöchelchen kann auch dann eintreten, wenn die Luftwellen zuerst den Kopfknochen zugeführt werden. Denn dann werden sie auch zum Trommelfell und zu den Gehörknöchelchen mittelbar zugeleitet, und der Trommelhöhlenapparat resonirt. So ist es auch bei den von unserer eigenen Stimme den Mund-, Rachen- und Nasentheilen mitgetheilten Wellen. Sie bewirken auch eine Resonanz des Trommelhöhlenapparates. Diess gilt aber auch von den Wellen, welche von festen Theilen den Kopfknochen mitgetheilt werden. Auch hier wirkt immer jene Resonanz mit. Setzt man eine tönende Stimmgabel bei verstopften Ohren auf den Scheitel, so ist der Ton am schwächsten, stärker ist er, wenn sie auf die Schläfe aufgesetzt wird, je näher sie dem Gehörgang steht, um so stärker wird der Ton, und der Ton nimmt nicht bloss in dem Verhältniss zu, je näher der tönende Körper dem Labyrinth ist, sondern zugleich, je näher die schallleitenden Theile des Kopfes der äussern Ohröffnung sind.

Die blosse Leitung von Luftwellen durch die Kopfknochen könnte nur Jemand hören, bei dem der Trommelhöhlenapparat gar nicht vorhanden, und der äussere Gehörgang geschlossen wäre. Wahrscheinlich würden in diesem Falle Luftwellen gar nicht, oder äusserst schwach gehört werden. Dagegen das Hören von Stössen fester Körper, die durch feste Körper auf die Kopfknochen geleitet werden, bei unversehrtem Labyrinth noch stattfinden muss. Dieses Mittels kann man sich bei Tauben, welche Luftwellen nicht hören, bedienen, um zu ermitteln, ob ihr Labyrinth und ihr Gehörnerve noch in Integrität sind.

Ein Tauber, der keine Wellen aus der Luft zu hören vermag, hört zuweilen doch das starke Klopfen auf den Boden, welches ihm durch die festen Theile des Körpers zugeleitet wird. Doch ist hiebei schwer zu unterscheiden, was der Empfindung

der Bebung durch das Gefühl und was dem Gehör angehört. Alle tiefen Töne wirken leicht auf die Gefühlsnerven und man empfindet die Bebungen als Gefühl, wenn man während des Sprechens an die Brust die Hand legt, oder einen tönenden festen Körper mit der Hand hält. Die im Wasser durch die Pfeife erregten Schallwellen fühlt man durch das Gefühl nicht, wenn man die Hand ins Wasser hält, wohl aber, wenn man mit der Hand einen festen Körper in das Wasser taucht. Diese Gefühlsempfindungen von Schwingungen haben zu der falschen Vorstellung Veranlassung gegeben, dass man durch andere Nerven als den Gehörnerven auch hören könne.

Hören der Schallwellen verschiedener Medien.

I. Unmittelbare Schallleitung der Luft zum Gehörorgan.

Wir hören am häufigsten durch Wellen der Luft, mögen sie primär in der Luft erzeugt seyn, oder in andern Körpern erzeugt durch die Luft zu unserm Ohr gelangen. Sind die Wellen zuerst in der Luft erzeugt, so gelangen sie viel stärker zum Gehörorgan, als wenn sie von andern Körpern erzeugt, der Luft mitgetheilt werden. Denn im letzten Fall findet eine Verminderung der Stärke bei der Mittheilung an die Luft statt. Saiten und Stimmgabeln tönen darum so schwach ohne Resonanzboden, der mit dem tönenden festen Körper durch Steg oder anderweitig in Verbindung stehen muss. Der Resonanzboden ist hingegen bei den Blaseinstrumenten ganz unnöthig, da die primär erzeugten Luftwellen am stärksten durch die Luft selbst fortgepflanzt werden. Ein wirksamer Resonanzboden für primäre Luftwellen könnte nur die Luft selbst in einem begrenzten Raume seyn. Ein fester Resonanzboden würde wenig zur Verstärkung des Tons beitragen, da bei der Mittheilung der Schallwellen aus der Luft an feste Körper und von diesen an die Luft eine Verminderung der Stärke der Stösse stattfindet.

So wie die Schallwellen fester Körper sich schwierig der Luft mittheilen, ebenso gehen auch die Schallwellen des Wassers schwer an die Luft über. Befindet sich das Ohr in der Luft, so wird ein im Wasser erzeugter Schall immer sehr schwach von uns vernommen, und bei einem sehr schiefen Winkel der Direction der Schallwellen gegen die Wasser- und Luftfläche gar nicht, wie diess auch beim Licht der Fall ist. Diese Schwierigkeit erfuhr auch Colladon bei seinen Versuchen über die Schnelligkeit der Fortpflanzung des Schalls im Wasser. Eine ins Wasser und ans Ohr gehaltene Röhre leistete fast gar keinen Dienst, wenn nicht am untern Ende der Röhre eine die Schallwellen des Wassers aufnehmende feste Platte war. Um den Schall des Wassers, wenn man in der Luft ist, stark zu hören, muss man aber die Schallwellen des Wassers nicht bloss in einen festen Stab leiten und diesen ans Ohr halten, sondern diesen auch mit einem das Ohr ausfüllenden Stopfen in Verbindung bringen, so dass der Zwischenkörper der Luft so viel als möglich ausgeschlossen ist.

Nur auf diese Weise hört man eine im Wasser selbst läutende kleine Glocke mit ihrem vollen Klange *).

Muss der Schall zuerst in Wasser und aus diesem wieder in Luft zu unserm Gehörorgan gelangen, so ist die Schwächung noch grösser; daher hören Taucher von dem über dem Wasser erzeugten Schall nichts. Gehler's *physiol. Wörterb.* 8. p. 449.

Beim Hören in der Luft hängt übrigens die Stärke des Schalls von der Dichtigkeit und der Trockenheit der Luft ab. Die Schnelligkeit der Schallleitung nimmt zwar mit der Verdünnung der Luft zu, aber die Stärke der Schwingungen nimmt mit der Verdünnung ab. Eine im verdünnten Luftraum tönende Glocke wird fast gar nicht gehört. Genau genommen ist allerdings damit doch nur bewiesen, dass die Verminderung des Stosses beim Uebergang der Wellen aus der Glocke an die verdünnte Luft und von dieser an den Recipienten sehr gross ist. Ueber das unmittelbare Hören von Luftwellen verdünnter und verdichteter Luft, nämlich solcher Wellen, die ohne durch feste Körper durchzugehen, auf das Trommelfell stossen, sind noch fast gar keine Versuche angestellt. Man hat nur die von Saussure auf dem Montblanc angestellte Erfahrung, dass in den dünneren Luftschichten ein Pistolenschuss nicht mehr Geräusch machte, als ein kleiner Schwärmer es gewöhnlich thut.

II. Unmittelbare Schallleitung des Wassers zum Gehörorgan.

Wenn wir im Wasser selbst untertauchen, gelangen die Schallwellen des Wassers zum Trommelfell. Alle im Wasser selbst erzeugten Schalle werden dann vortrefflich gehört, wie die Erfahrungen von Nollet und Monro zeigten, und jeder, der im Wasser untergetaucht, weiss. Schwieriger werden im Wasser die aus der Luft ins Wasser übergehenden Schallwellen gehört, welche bei diesem Uebergang eine beträchtliche Verminderung der Stösse ihrer schwingenden Theilchen erleiden.

III. Unmittelbare Schallleitung fester Körper zum Gehörorgan.

Die grösste Intensität des Schalles bei primären Luftwellen findet statt bei unmittelbarer Leitung des Schalles durch die Luft zum Gehörorgan; die grösste Intensität des Schalles primärer Wellen fester Körper findet statt bei unmittelbarer Leitung derselben durch feste Körper zum Gehörorgan. Der Klang eines Stückes Holz oder Metall ist schwach von der Luft geleitet, ausserordentlich stark, wenn eine Schnur vom klingenden Körper an die Zähne oder in beide verstopfte Ohren gehalten wird. Bei 300 Ellen Entfernung hörten Herhold und Rafn den Klang eines Löffels durch eine am Löffel selbst befestigte Schnur auf diese Weise noch wie den Ton einer Glocke. Jeder weiche und feste

*) Dass eine Glocke aus dem Wasser keinen Klang, sondern nur einen kurzen Stoss wahrnehmen liess, wie Colladon fand, konnte von der grössern Entfernung oder auch von der Unvollkommenheit der angewandten Leitung abhängen. Denn klanglos wird der Ton einer nahen im Wasser tönenden Glocke nach meinen Versuchen nur gehört, wenn er nicht durch eine Kette fester Körper aus dem Wasser zum Labyrinth kommt, sondern durch eine Luftschicht durchgehen muss.

Theil des Kopfes ist zur Aufnahme der Stösse fester Körper geeignet. Am schwächsten werden sie durch die Weichtheile des Kopfes fortgepflanzt, wenn man den Stab, der den tönenden Körper berührt, an sie anlegt *) Stärker ist diese Leitung, wo die Kopfknochen dünn bedeckt sind, noch stärker, wo sie frei liegen, wie an den Zähnen. Wird eine Uhr an die Zähne angelegt, so ist ihr Schlag ungemein deutlich, am stärksten an den Zähnen des Oberkiefers, von wo die Leitung bloss durch harte Theile durchgeht. Schwächer ist die Leitung bei Berührung der Zunge, am schwächsten, wenn die Uhr nur in die Luft der Mundhöhle gehalten wird. Ebenso stark, und noch stärker ist die Leitung durch die Wände des äussern Gehörganges, wenn dieser verstopft ist und ein Stab zwischen Uhr und Stopfen oder die nächste Umgegend des Gehörganges angelegt wird. In diesem Fall kommen die Wellen fester Körper statt durch die Kopfknochen ins Labyrinth, vielmehr unmittelbar durch eine Kette von festen Wänden und zunächst von den Wänden des Gehörganges auf das Trommelfell und die Gehörknöchelchen. Die Wirkung des Hörrohrs der Schwerhörigen beruht zum Theil auf der ungeschwächten Fortleitung der Luftwellen, zum Theil auf der Resonanz der Luftsäule des Hörrohrs, zum Theil aber auch auf der Communication der resonirenden Wände des Rohrs mit den festen Theilen des Gehörganges. Dass auch letztere von Wichtigkeit ist, kann man an einem Beispiel sehen, wo die Condensation der Luftwellen wegfällt. Lässt man nämlich in ein Rohr sprechen, und fasst, bei verstopften Ohren, das Rohr von der Seite zwischen den Zähnen, so hört man einen ausserordentlich starken Schall, welcher von der Resonanz des Rohrs abhängt, die man durch die Luft allein zum Ohr gelangend kaum hören würde.

Die unmittelbare Leitung fester Theile zu den festen Theilen des Gehörorgans wird auch in Anspruch genommen beim Hören durch Auflegen des Ohrs auf den Erdboden. Ist das Ohr dabei verstopft und berührt der Stopfen die Erde, so ist die Leitung noch viel stärker. Natürlich können hiebei nur solche Töne stark vernommen werden, welche primär im Erdboden entstehen oder in festen Theilen entstehend, durch feste Theile dem Erdboden zugeleitet werden, wie die Fusstritte der Menschen und Pferde; dagegen primäre Luftwellen viel schwerer dem Erdboden sich mittheilen und in diesem keinen geeigneten Leiter für das anliegende Ohr haben.

Bei der Stethoskopie geschieht ganz dasselbe. Töne in festen Theilen erregt, oder durch feste Theile durchgehend, werden von diesen ab in die festen Theile des aufliegenden Ohrs geleitet. Das Ste-

*) Nach den Erfahrungen von Perier und Larrey an Trepanirten sollte man glauben, dass die Schallwellen leichter aus der Luft durch bloss weiche Theile zum Gehörnerven, als durch den von der Haut bedeckten Schädel geleitet werden. Bei verstopften Ohren sollen Trepanirte den Schall über der überhäuteten Trepanationsöffnung besser hören. Der Erfolg, der mir nicht hinreichend constatirt scheint, soll aber nur stattfinden, wenn die Oeffnung an dem vordern Theile des Kopfs sich befindet. Larrey *clinique chirurgicale. Paris* 1836. 33.

thoskop selbst leistet wenig mehr als das aufliegende Ohr selbst, ausser durch seine Resonanz. Bei seiner gewöhnlichen Einrichtung findet eine doppelte Leitung statt, von den festen Theilen des tönenden Körpers durch das Holz zu den festen Theilen des Gehörorgans, und zweitens von den festen Theilen des tönenden Körpers an die Luftsäule im Stethoskop und sofort durch die Luft auf das Trommelfell. Die letztere Leitung ist viel schwieriger, da die Schallwellen von der Oberfläche des festen menschlichen Körpers schwer an die Luft übergehen, ist aber doch durch Resonanz nützlich. Daher ein blosser Stab nicht dieselben Dienste thut wie ein Stethoskop. Dagegen kann man den Ton auch durch einen blossen Stab stark hören, wenn man sich das Ohr durch einen Papierstopfen ausstopft, und den Stab, zwar nicht an den Stopfen (denn die Reibungen stören das Beobachten), sondern an die weiche Umgebung des äussern Ohrs hält. In diesem Falle theilt sich die Leitung fester Theile durch den Stopfen vollständiger den Wänden des Gehörganges und sofort dem Trommelfell mit.

Bei Schwerhörigen, welche die Luftwellen selbst durch ein Hörrohr nicht mehr vernehmen, ist es zuweilen nützlich, die Luftwellen in Wellen fester Körper zu verwandeln, und diese durch Berühren des festen Körpers hören zu lassen. Am zweckmässigsten ist hierzu, wenn es sich um das Hören der Stimme Anderer handelt, in ein Becken sprechen zu lassen, von dem ein Stab ausgeht, der zwischen die Zähne gefasst oder einen Stopfen im Ohr gehalten wird.

Die hieher gehörigen Erfahrungen über das Hören Schwerhöriger durch feste Theile finden sich gesammelt in Chladni's *Akustik* p. 262. 286. und Lincke *a. a. O.* p. 530.

III. Akustische Eigenschaften des Labyrinthes.

Labyrinthwasser.

Unter den akustischen Einrichtungen des Labyrinthes nimmt das allgemeinste und nie fehlende zuerst die Aufmerksamkeit in Anspruch, das Labyrinthwasser. In allen Fällen werden nämlich die Schwingungen immer erst auf Schwingungen des Wassers reducirt, ehe sie den Gehörnerven treffen. Warum hat es die Natur bei den meisten Thieren vermieden, die den Kopfknochen mitgetheilten Stosswellen von diesen selbst aus ohne Labyrinthwasser auf den Hörnerven zu verpflanzen? Bei den Luftthieren lässt sich sogleich als Grund anführen, dass die Mittheilung der Stosswellen aus der Luft an die festen Theile des Kopfes zu schwierig ist, während sie hingegen aus der Luft an Wasser durch Vermittelung einer gespannten Membran leicht ist, mag diese selbst das Wasser berühren oder erst durch einen beweglichen frei begrenzten festen Körper auf dasselbe wirken. Aber bei den im Wasser lebenden Thieren reicht diese Erklärung nicht aus. Die Mittheilung von Schwingungen aus dem Wasser an feste Körper, und also an die Kopfknochen (wie bei den Knochenfischen) ist leicht.

Dennoch werden auch hier wieder die Schwingungen der Kopfknochen auf Schwingungen des Labyrinthwassers reducirt, um von diesem aus den Hörnerven zu treffen. Der Grund muss also wohl ein allgemeinerer seyn. Er liegt wahrscheinlich in Folgendem. Der letzte Endzweck des Gehörorganes ist vollkommene Mittheilung der Stosswellen an die Nervenfasern. Da diese wie alle Nerven weich und von Wasser durchdrungen sind, so würde schon die Mittheilung der Stosswellen von festen Theilen an diese weichen Nerven zum Theil eine Reduction auf Schwingungen des Wassers seyn. Ausser der Weichheit der Nerven durch Wasser sind aber auch alle Zwischenräumchen zwischen den Nervenfasern wie in allen weichen Theilen von flüssigen Theilen, sei es Blut oder Zellgewebeflüssigkeit, ausgefüllt. Geschieht die Mittheilung der Stosswellen vom Labyrinthwasser aus auf die Fasern des Hörnerven, so ist das Medium der nächsten Mittheilung gleichartig mit dem, welches alle Porositäten und Interstitien der Nerven selbst einnimmt. In diesem Fall mag die Schwingung der Theilchen in dem Nerven selbst viel gleichartiger seyn, als wenn bloss die Oberflächen des Nerven feste Theile berührten. Im letztern Falle würden die Theilchen des Nerven, welche die festen Theile berühren, eine andere Contiguität haben als diejenigen Theilchen des Nerven, welche mehr im Innern des Nerven und von der Berührungsfläche mit festen Theilen entfernt liegen. Muncke (Gehler's *physic. Wörterb.* 4. 2. p. 1211.) bemerkt in Beziehung auf das Labyrinthwasser, dass das Wasser, obgleich untauglich zur Tonerzeugung, den Schall vortrefflich, ja noch besser als die Luft leite. Diess möchte ich nicht zugeben, und es kann sich nur auf die Geschwindigkeit der Leitung beziehen. Denn die Luft leitet ihre eigenen Wellen, und das Wasser seine eigenen Wellen am wenigsten ungeschwächt weiter.

Die sogenannten Wasserleitungen scheinen mir in der Physiologie des Gehörs gar keine Stelle zu verdienen. Sie enthalten keine häutigen Canäle und keine Flüssigkeit, auch keine Venenstämme, sie sind nur Verbindungen der Beinhaut und Dura mater mit der innern Beinhaut des Labyrinths. Mueller's *Archiv* 1834. 22.

In der Ausbildung des Labyrinthes giebt es 3 Stufen, 1) blosser Vorhof mit einem Bläschen; 2) Vorhof mit halbcirkelförmigen Canälen mit ähnlicher Bildung des membranösen Labyrinthes; 3) die vorhergehende Stufe mit der Schnecke.

Vorhof. Halbcirkelförmige Canäle.

Man setzt die Function der halbcirkelförmigen Canäle gewöhnlich mit Scarpa in die Sammlung der Wellen aus den Kopfknochen. Bei Canälen kommt die Resonanzfähigkeit ihres Inhaltes, die condensirte Fortleitung im Innern derselben und die Resonanz der Wände in Betracht.

Was zuerst die Resonanz des Inhaltes eines Rohrs betrifft, so muss dieser im Labyrinth alle Bedeutung abgesprochen wer-

den, da das Wasser, an feste Körper angrenzend, in sich wahrscheinlich keine merkliche Resonanz durch Abwerfung der Wellen von seinen Grenzen besitzt. Auch zum Sammeln der Schallwellen aus festen Körpern scheint das Wasser wenig geschickt zu seyn. Wurde in die vielfach communicirenden Rinnen eines anatomischen Tisches Wasser gegossen, dann am Ende des Tisches die tönende Stimmgabel aufgesetzt, so hörte ich den Ton im Wasser mittelst des in das Wasser allein eingetauchten Conductors nicht stärker, als wenn auf der Oberfläche des Tisches eine kleine Stelle mit Wasser bedeckt war und mit diesem Wasser der Conductor in Berührung gebracht wurde. Ich liess ferner in ein dickes Brett Canäle bohren, parallel mit der Fläche des Brettes. Diess Brett konnte in die Seite eines hölzernen Beckens eingesetzt werden, so zwar, dass die Oeffnungen der Canäle mit der Höhle des Beckens communicirten. Wurde das Becken und von da aus die Canäle mit Wasser gefüllt, und wurden in dem Wasser des Beckens mit der durch Membran geschlossenen Pfeife Schallwellen erregt, so wurde der Ton mit dem Conductor nicht schwächer gehört, wenn die Communications-Löcher der Canäle mit dem Becken durch Stopfen geschlossen, als wenn sie offen waren.

Nun fragt sich, in wie weit ein mit Wasser gefülltes Rohr mit einem durch Luft gefüllten schallleitenden Communicationsrohr verglichen werden könne. In letzterem lässt sich bekanntlich der Schall mit fast unveränderter Stärke weit fortleiten, weil sich die Wellen der Luft schwer den festen Wänden des Rohrs mittheilen und an den Krümmungen auch reflectirt werden. Bei einem mit Wasser gefüllten Rohr, das Schallwellen des Wassers leitet, ist es ganz anders; einige Reflexion findet auch im Wasser statt (siehe p. 422); aber das Wasser giebt seine Wellen viel leichter an feste Körper als die Luft ab und die Stärke des in einer gewissen Richtung fortschreitenden Stosses im Wasser erhält sich in Wasserröhren nur auf ganz kurze Strecken. Wurde z. B. das mit Membran geschlossene Ende der einfüssigen Pfeife mit einem Rohr von 4 Zoll Länge, 8 Linien Breite verbunden und in Wasser so gehalten, dass die Membran ganz mit dem Wasser in Berührung war, so war allerdings der Ton der Stösse der angeblasenen Luftsäule im Wasser am Ende des Rohrs, also auf 4 Zoll Länge, mit dem Conductor noch stärker hörbar, als im übrigen Wasser, stärker als im Wasser an der Aussenseite des Communicationsrohrs und stärker als bei gleicher Entfernung ohne Communicationsrohr. War aber die Länge des Communicationsrohrs 1 Fuss, so war es mir unmöglich, eine grössere Stärke im Wasser des Beckens am Ende des Rohrs als an anderen Stellen des Wassers wahrzunehmen. Ich verband auch 2 Wasserbecken durch eine 6 Fuss lange Röhre von Glas und erhielt keinen der Wirkung eines Communicationsrohrs ähnlichen Erfolg. Der Schall wurde nicht stärker am andern Ende des Rohrs im Wasser gehört, als wenn der Conductor den resonirenden Wänden des Beckens nahe kam.

Hieraus geht hervor, dass man bei den halbcirkelförmigen

Canälen zwar auf einige stärkere Fortleitung des Schalls in der Richtung ihrer Krümmung rechnen, dass aber diese ungeschwächte Fortleitung durch Röhren bei weitem nicht so vollkommen ist wie in mit Luft gefüllten Röhren.

Einige aber nur geringe Condensation des Gehörs wird daher dadurch entstehen, dass dieselbe Welle, welche durch die Schenkel eines Canals im Vorhof eintritt, mit einem Theil ihres Stosses durch die entgegengesetzten Schenkel zurückgelangt. Th. Young hat hierauf gerechnet.

Kömmt der Stoss nicht durch die Fenster, sondern durch die Kopfknochen wie bei den Fischen und auch zum Theil bei uns, so wird dieser Grad von Condensation auch durch die halbkreisförmigen Canäle stattfinden.

In den halbcirkelförmigen Canälen kömmt endlich auch die Resonanz der Kopfknochen von den Schwingungen des Labyrinthwassers in Betracht. Denn in der Nähe fester Wände im Wasser, denen Schallwellen mitgetheilt werden, werden diese immer stärker als ceteris paribus im übrigen Wasser gehört. Dass der Conductor nicht die Wände selbst berühren dürfe, versteht sich von selbst. Liegen sich 2 im Wasser resonirende Wände nahe, so sind natürlich die Wellen des Wassers zwischen ihnen noch stärker. Diess konnte man an dem vorher erwähnten Apparat mit dem von Canälen durchzogenen Brett, das mit einem Wasserbecken verbunden war, wahrnehmen. Wurde der Conductor ins Innere des Canals des Brettes vom Becken aus gehalten, so wurde der mit der Stimmgabel dem Brett mitgetheilte Ton ein wenig stärker gehört, als wenn der Conductor bei gleicher Entfernung den Wänden des Beckens selbst genähert wurde. Zur richtigen Vergleichung muss in beiden Fällen ein gleich langes Stück des Conductors mit dem Wasser in Berührung seyn, denn der Ton ist stärker, wenn der Conductor tiefer eingetaucht wird.

Nimmt man nun an, dass die halbcirkelförmigen membranösen Canäle im Stande seien, die Resonanz der Kopfknochen in das Wasser zu sammeln und in der Richtung ihrer krummen Bahn besser fortzuleiten als in der Direction des Stosses, so wird die Verstärkung den Ampullen und dem Alveus communis, wo sich der Nerve ausbreitet, zu Gute kommen.

In wie weit die membranösen Canäle die festen Canäle berühren, muss diese Wirkung noch viel stärker werden. Aber auch auf eine von den umgebenden festen Theilen unabhängige Mitwirkung der halbcirkelförmigen membranösen Canäle wird man durch die für die Physiologie des Gehörs wichtige Thatsache geführt, dass die halbcirkelförmigen Canäle der Petromyzon gar nicht von festen Theilen isolirt umgeben sind, sondern mit dem alveus communis in derselben gemeinschaftlichen festen Capsel liegen.

Autenrieth und Kerner nahmen an, dass die verschiedenen Canäle auch im Stande seien die Direction des Schalls dem Nerven anzuzeigen. Allein die Direction des Schalls scheint ausser der stärkern Wirkung auf eines der Ohren, und ausser der verschiedenen Stärke des Schalls nach der Direction des Gehörgan-

ges, und der Concha kein Gegenstand der Empfindung zu seyn. Wären wir auch im Stande die Richtung des Stosses der schwingenden Theilchen zu unterscheiden, so würde doch diese Richtung immer eine doppelte und entgegengesetzte seyn, denn die Theilchen schwingen auch zurück und bei einem Ton wechselt diess regelmässig ab. -

Die im Labyrinth der Fische und fischartigen Amphibien enthaltenen Hörsteine *) und der crystallinische Brei im Labyrinth der übrigen Thiere, müsste durch Resonanz den Ton verstärken, selbst wenn diese Körner die Membranen, auf welcher die Nerven sich ausbreiten, nicht berührten. Nun berühren aber diese Körper die membranösen Theile des Labyrinthes, die membranösen Theile und der Nerve erhalten dadurch, in soweit diese Berührung stattfindet, auch Stosswellen aus diesen festen Theilen, welche intensiver sind, als die aus dem Wasser. Man fühlt die Schwingungen des Wassers bei der Schallleitung nicht mit der ins Wasser gehaltenen Hand, wohl aber wenn man ein Stück Holz mit der Hand im Wasser hält.

Diess scheint mir die wahre Bedeutung des crystallinischen Breies und der Hörsteine zu seyn. Die Ansicht, dass der crystallinische Staub beim Hören von den Wänden abgeworfen werde, wie der Staub auf schwingenden Scheiben und Membranen, lässt sich physicalisch nicht rechtfertigen. Denn im Wasser sieht man während der Schallleitung den im Wasser schwebenden Staub nie die geringste Bewegung machen.

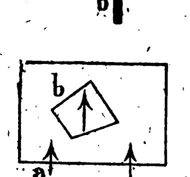
Andere directe Versuche lassen sich nicht gut anstellen. Ich band ein Stück erweichte Schweinsblase im Wasser mit Wasser und Sand zu einem Beutelchen, welches ich platt drückte, ich ahmte das membranöse Labyrinth mit dem crystallinischen Brei nach, und untersuchte seine Wirkung auf Schallwellen des Wassers, die mit der Pfeife erregt werden, mittelst des Conductors. Das Beutelchen wurde nämlich im Wasser zwischen das Ende der Pfeife und den Conductor gehalten, ohne sie zu berühren. Allerdings war der Ton stärker, als wenn ceteris paribus das Beutelchen weggenommen wurde. Bei einem Gegenversuch bemerkte ich indess, dass dieses platt gedrückte Beutelchen von Membran, auch ohne den Sand bloss Wasser enthaltend, den Ton (durch Resonanz) verstärkte. Wovon die Resonanz membranöser Theile im Wasser abhängt, ist mir nicht klar geworden. Ein von der Kalkerde befreiter Oberarmknochen eines Vogels zeigte, aussen und inwendig mit Wasser in Berührung, fast gar keine Resonanz, ebenso wenig ein mit Wasser gefülltes Darmstück des Kalbes, und es war bei einem im Wasser erregten Ton ganz gleich, ob der Conductor an ein langes Darmstück, oder bei

*) Die Otolithen der Knochenfische haben eine ähnliche Structur, wie der Schmelz der Zähne. Die des Zanders bestehen z. B. aus zonenartig geordneten Schichten, in denen man sogleich schon eine regelmässige faserartige Bildung erkennt. Werden die geschliffenen Blättchen mit Salzsäure behandelt, so sieht man, dass die Schichten aus eben solchen zugespitzten Körperchen bestehen, wie ich sie aus dem noch nicht hart gewordenen Schmelz beschrieben habe. Poggend. *Ann.* 38.

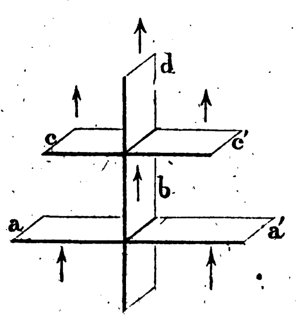
gleicher Entfernung von der Ursprungsstelle des Tons an ein kurzes im Wasser liegendes Darmstück angelegt wurde.

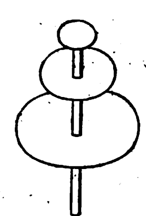
Schnecke.

Bei der Akustik des Labyrinthes kömmt ferner die Direction der Fortpflanzung des Stosses und der Wellen im Wasser und den festen Theilen des Labyrinthes in Betracht. SAVART's Untersuchungen über die Fortpflanzung der Stosswellen von festen Theilen auf Wasser, und vom Wasser auf feste Theile können hierauf angewandt werden. Diese Fortpflanzung scheint ganz wie in andern Medien zu erfolgen. Ist *a* ein Gefäss mit Wasser, *b* ein an den Boden desselben befestigter Stab, *c* eine auf dem Wasser schwimmende Holzplatte, so theilen sich longitudinale Wellen, welche in dem Stab *b* erregt werden, durch das Wasser in derselben Richtung der Platte *c* mit, wie der darauf hüpfende Sand zeigt. Ist ferner *a* ein Gefäss mit Wasser, *b* eine darauf schwimmende Platte, deren Ränder schief sind zu den Wänden des Gefässes *a*, und wird die Wand des Gefässes durch den Fidelbogen in der Richtung des Pfeils in Schwingung versetzt, so pflanzt sich der Stoss durch das Wasser auf die Platte und durch dieselbe in derselben Richtung fort, die schiefe Richtung der Ränder der Platte gegen die Richtung des Stosses ändert also die Direction des fortgepflanzten Stosses nicht ab. Die Fortpflanzung geschieht also, gerade so, wie wenn im ersten Fall der Stab *b* unmittelbar mit der Platte *c*, und im zweiten Fall die Wand *a* mit der Platte *b*, deren Fläche senkrecht zur Wand liegt, durch einen Stab verbunden wären. Daher lassen sich auch die Gesetze der Fortpflanzung des Stosses durch Platten, welche unter Winkeln auf einander stossen, auf das Labyrinth anwenden.



Aus den schon p. 433. mitgetheilten Thatschen ergiebt sich, dass wenn *a*, *b*, *c*, *d* unter einander verbundene Platten sind, und der Platte *a* Schallwellen in der Richtung der Pfeile ertheilt werden, die Schallwellen mit gleicher Direction durch den Stiel *b d* so wie durch die obere Platte *cc'* sich fortsetzen. Diess lässt sich nun auf die Schnecke anwenden. Der Stiel *bd* lässt sich mit dem Modiolus, die Querplatten mit der Spiralplatte vergleichen und zeichnet man diese Figur in die folgende Figur um, so fällt die Aehnlichkeit noch mehr in die Augen. In welcher Richtung daher entweder dem Modiolus, oder der Spiralplatte selbst Schallwellen mitgetheilt werden, im-





mer wird sich die Direction des Stosses in allen Theilen der Schnecke gleich bleiben, mag nun der Stoss zunächst von den Kopfknochen dem Modiolus, oder den Wänden der Schnecke, und von diesen der Spiralplatte oder einem von diesen Theilen durch das Labyrinthwasser mitgetheilt werden. Was die vom Labyrinthwasser ausgehenden Schwingungen betrifft, so ist das ovale Fenster so gerichtet, dass eine auf sein Feld gezogene senkrechte Linie fast parallel mit dem Modiolus der Schnecke läuft, daher werden die von diesem Fenster ausgehenden Stösse wahrscheinlich in den festen Theilen der Schnecke mit dem Modiolus gleich laufende Stösse erregen, d. h. die Spiralplatte wird am leichtesten in ihrer ganzen Ausdehnung in einer auf ihre Fläche beinahe senkrechten Richtung schwingen. Ich erkenne die Direction des Stosses an Platten, die sich im Wasser einen Ton mittheilen, leicht mit dem festen Conductor. Der Ton ist immer stärker, wenn der Conductor in der Richtung auf die Platten aufgesetzt wird, in welchen sich der Stoss fortpflanzt.

Bei der vorhergehenden Erörterung sind die verschiedenen Theile der Schnecke als gleichzeitig oder fast gleichzeitig vom Stosse ergriffen angesehen. Es entsteht nun die Frage, ob nicht auch eine successive Fortleitung des Stosses entlang der Windungen der Schnecke, z. B. vom Vorhof oder vom runden Fenster aus bis in die Kuppel stattfinden könne; so dass ihn entweder das Wasser successiv durch die Scalen fortpflanzt, oder diese Succession der Spiralplatte entlang erfolgt? Da der Canal der Schnecke und mit diesem die Spiralplatte eine beträchtliche Länge, nämlich die Windungen am äussern Umfang eine Länge von 18—19 Linien haben, so könnte, falls ein solches Ablaufen des Stosses entlang der Windungen der Schnecke möglich wäre, die Schnecke zur Verlängerung des Eindrucks dienen. Diese Hypothese ist jedoch sehr zweifelhaft. Eine solche Fortleitung würde durch die Luft in einem gewundenen Rohr stattfinden müssen. Bei der leichten Mittheilung des Stosses vom Wasser an feste Theile wird hingegen die successive Fortleitung der in einem festen Körper gelegenen Spirale von Wasser sich nicht rein erhalten, und die Wellen werden aus dem Anfang der Windungen fast ebenso leicht durch den Modiolus einen andern Theil der Windungen durchschneiden. Auch auf der Spiralplatte ist diese Art der Leitung nicht gut möglich, indem sie sich in die festen Wände der Schnecke fortsetzt und die ihr mitgetheilten Wellen ebenso leicht den Wänden der Schnecke und der Spindel mittheilt, als selbst weiter leitet. Die der Spindel und den Schneckenwänden mitgetheilten Stösse werden aber wieder andere Theile der Spiralplatte, ausser der in der Spiralplatte selbst stattfindenden Fortleitung stossen. Nur wenn der Schneckencanal ohne Windung in der Richtung des Stosses in ganzer Länge gerade angelegt wäre, würde ein Ablaufen der Stosswelle durch denselben erfolgen.

Es ist daher wohl gewiss, dass auf dieses ungestörte Ablaufen des Stosses im Wasser der Schnecke und auf der Spiralplatte

nicht zu rechnen ist. Ein solches Ablaufen der Stösse auf einer $1\frac{1}{2}$ Zoll langen Bahn nervenreicher Theile würde auch der Schärfe der Empfindung eher nachtheilig, als nützlich seyn. Denn es würden auf einer solchen Bahn der Welle Theilchen des Nerven im Maximum des Stosses und der Verdichtung seyn, während andere ihr Maximum noch nicht erreicht haben, wie beim Nachhall. Die Windungen der Schnecke müssen vielmehr, indem sie den Schneckencanal auf einen kleinen Raum beschränken, diesen Nachtheil, wenn er sonst stattfinden könnte, aufheben.

Die Spiralplatte der Schnecke muss daher als eine die Nervenfasern ausgebreitet tragende Platte betrachtet werden, auf welcher alle Fasern des Schneckennerven fast gleichzeitig die Stosswelle empfangen, und gleichzeitig in das Maximum der Verdichtung und dann wieder in das Maximum der Verdünnung eintreten. Nach dieser Theorie wäre es im Allgemeinen ziemlich gleichgültig, ob die Nervenfasern auf mehreren um die Spindel angebrachten cirkulären Platten, wie in der letzten Figur, oder auf einer zusammenhängenden, treppenartig herumlaufenden Platte sich ausbreiten. Die letzte Form, welche die Natur angewandt hat, hat zugleich den Vortheil, dass alle Theile der Platte untereinander im Zusammenhange stehen, und sich ihre Stösse leichter mittheilen.

Die Windungen der Schnecke haben zugleich den Vortheil, eine zur Ausbreitung der Nervenfasern nöthige ansehnliche Fläche im kleinsten Raum zu verwirklichen.

Der letzte Endzweck der Schnecke scheint die Ausbreitung der Nervenfasern auf einer festen Platte, die sowohl mit den festen Wänden des Labyrinthes und Kopfes, als mit dem Labyrinthwasser in Berührung steht, und die sowohl den Vortheil dieser doppelten Leitung, als den Vortheil hat, dass die Platte begrenzt ist. Aus diesem Principe lassen sich alle akustischen Vorzüge der Schnecke ableiten.

Die Verbindung dieser Platte mit den festen Wänden des Labyrinths macht die Schnecke zum Hören der Schallwellen der festen Theile des Kopfes und der Wände des Labyrinthes fähig. Diese Bestimmung der Schnecke hat bereits E. H. Weber angegeben. *Annotationes anatomicae et physiologicae. Lips.* 1834. Der membranöse Labyrinth liegt frei im Labyrinthwasser, und ist offenbar mehr zum Hören der dem Labyrinthwasser selbst mitgetheilten Stösse bestimmt, mögen die Stösse durch die Kopfknochen, wie bei den Fischen, beim Menschen beim Hören mit den Kopfknochen und Zähnen, oder durch die Fenster ins Labyrinthwasser gelangen. Allerdings ist auch der membranöse Labyrinth der Resonanz der festen Wände des Labyrinthes ausgesetzt, denn die dem Wasser mitgetheilten Schallwellen werden, wie ich gezeigt, in der Nähe fester Wände stärker gehört. Indess hört der membranöse Labyrinth die Stösse doch immer zunächst nur aus dem Wasser. Die Spiralplatte der Schnecke hingegen mit den festen Wänden des Labyrinthes im Zusammenhang, hört die den festen Wänden mitgetheilten Stösse unmittelbar aus den festen Wänden. Diess ist ein bedeutender Vortheil; denn die den festen

Theilen mitgetheilten Stösse sind ceteris paribus absolut stärker, als die des Wassers.

Diess folgt mit aller Evidenz aus den bereits mitgetheilten Untersuchungen. Wollte man die Intensität der Stösse fester Körper und des Wassers so vergleichen, dass man den Conductor einmal an die festen Körper legt, das andere Mal ins Wasser taucht, so würde man sich irren. Denn die Stösse fester Körper gehen mit unveränderter Stärke an den sie berührenden festen Conductor, geschwächt hingegen aus dem Wasser an den festen Conductor über. Vergleicht man aber mittelst des Conductors Schallwellen im Wasser, in der Nähe fester Wände ohne Berührung derselben, und in Entfernung davon, so ist das Mittel der Vergleichung in beiden Fällen dasselbe. In beiden Fällen hört man mittelst des Conductors aus dem Wasser. Beiderlei Stösse werden hier auf dasselbe Mittel reducirt. Da nun selbst bei der Erregung eines Tons im Wasser, das Wasser in der Nähe der Wände des Beckens stärker schallt, als an anderen gleichweit von der Ursprungsstelle des Schalls entfernten Stellen des Wassers, so folgt, dass ceteris paribus, die Schallwellen fester Körper intensiver wirken, als die des Wassers. Und hieraus sieht man sogleich den grossen Vortheil der Schnecke ein.

Die Schnecke ist indess nicht bloss in dieser Absicht angelegt, die Spiralplatte empfängt auch, so gut wie der membranöse Labyrinth, die Stosswellen des Labyrinthwassers vom Vorhof und vom runden Fenster aus. Die Spiralplatte des Menschen und der Säugethiere ist hierzu noch viel geeigneter, als der membranöse Labyrinth; denn als fester und begrenzter Körper ist sie der Resonanz fähig. Von dieser Wirkung kann man sich durch einen Versuch überzeugen. Klemmt man eine dünne Holzplatte in ein mit Wasser gefülltes Becken von Holz von sehr dicken Wänden ein, so resonirt die Platte ceteris paribus stärker ins Wasser, als die dicken Wände des Beckens. Lässt man nämlich mit der mit Membran geschlossenen Pfeife Schallwellen im Wasser des Beckens erregen, indem das Pfeifenende im Wasser senkrecht gegen die festgeklemmte Platte gerichtet ist, ohne sie zu berühren, so hört man mittelst des Conductors in der Nähe der Wände der Platte überall den Ton im Wasser stark, auch entfernt von der Ursprungsstelle des Schalls. Lässt man die Pfeife gleichweit entfernt gegen die Wände des dicken Beckens von Holz richten, so hört man mittelst des Conductors in der Nähe der Wände auch stark, aber nicht so stark wie im vorhergehenden Fall. Es ist gleichviel, ob man die Platte an einem Rande oder an beiden entgegengesetzten Rändern befestigt, wenn nur ihre Seiten frei sind und das Wasser berühren.

Zuletzt lässt sich einsehen, warum die Fasern des Nerven einzeln neben einander auf der Spiralplatte ausgebreitet werden.

Je dicker der Schneckennerve auf festen Theilen der Schnecke sich ausbreitete, um so weniger würde er die Stösse der festen Theile der Schnecke empfangen, da er den festen Theilen der Schnecke ungleichartig ist, je feiner er aber darauf vertheilt ist,

um so leichter werden seinen Fasern die Stösse der sie berührenden festen Theile mitgetheilt.

Mit der Oberfläche des Körpers, welche die Schallwellen berühren, wächst ferner auch die Stärke der Mittheilung. Wird der Conductor bei verstopften Ohren in Wasser gehalten, worin ein Schall erregt wird, so nimmt dieser Schall an Stärke zu, je tiefer der Conductor ins Wasser gesenkt wird, oder auch je breiter er auf das Wasser aufgelegt wird.

III. Capitel. Wirkung der Schallwellen auf den Gehörnerven und Eigenwirkungen desselben.

1. Wirkungen der Schallwellen auf den Gehörnerven.

Die Untersuchung dieses Gegenstandes muss von den Eigenschaften der Wellen ausgehen, welche ins Labyrinthwasser gelangen.

Bei einer von einem tönenden Körper erregten und zum Labyrinth gelangenden Stosswelle müssen folgende Eigenschaften unterschieden werden:

1) Ihre Dicke und die Dauer ihres Eindrucks.

2) Ihre Breite.

3) Die Stärke der Excursion oder die Grösse der Bahn der schwingenden Theilchen.

Die Dicke der Wellen ist die Ausdehnung einer Welle in der Richtung, in welcher sie fortschreitet. Die Dicke einer Welle in einem schallleitenden Medium hängt ab theils von der Zeit, welche der tönend schwingende Körper von einer bis zur andern Schwingung oder zu einer ganzen Schwingung braucht, theils von dem Fortpflanzungsvermögen des schallleitenden Mediums. Die Luftsäule der 32 füssigen Orgelpfeife macht in der Secunde 32 Doppelschwingungen, oder 16 Stösse in einer Richtung. Der eine Theil der Doppelschwingungen bringt die Verdichtung des schallleitenden Mediums oder den Wellenberg, der andere rückkehrende Theil der Schwingung die Verdünnung oder das Wellenthal hervor. Da nun die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft 1022 Fuss in der Secunde beträgt, so ist die Distanz zwischen dem Anfang und dem Ende einer Stosswelle oder die Dicke einer Welle in der Luft $\frac{1022}{16}$ oder beinahe 64 Fuss beim C der 32 füssigen Orgelpfeife.

Beim Ton der 16 füssigen Orgelpfeife contra C mit 64 Doppelschwingungen oder 32 einseitigen Stössen ist die Dicke der Welle in der Luft $\frac{1022}{32}$ oder beinahe 32 Fuss.

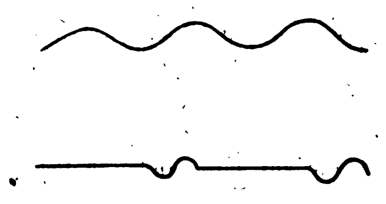
Beim Ton der 8 füssigen Orgelpfeife oder grossen C mit 128 Doppelschwingungen oder 64 einseitigen Stössen ist die Dicke der Welle in der Luft $\frac{1022}{64}$ oder beinahe 16 Fuss.

Beim Ton der 4 füssigen Orgelpfeife oder kleinen c ist die Dicke der Welle in der Luft 8 Fuss, bei $\bar{c}$ 4 Fuss, bei $\bar{\bar{c}}$ 2 Fuss, bei $\bar{\bar{\bar{c}}}$ 1 Fuss.

Die Geschwindigkeit des Schalls im Wasser ist 4 Mal schneller als in der Luft, und beträgt 4090 Fuss in der Secunde. Die Dicke der Wellen ist daher im Wasser in diesem Verhältniss grösser, nämlich beim C der 32 füssigen Pfeife = 256 Fuss, beim contra C 128, beim grossen C 64, beim ungestrichenen c 32, beim $\bar{c}$ 16, beim $\bar{\bar{c}}$ 8, beim $\bar{\bar{\bar{c}}}$ 4 Fuss. Mit dieser Dicke gehen die Wellen also auch durch das Labyrinthwasser, und es ergiebt sich hieraus, dass bei dem kleinen Umfang des Labyrinthes, selbst bei den höchsten Tönen nicht mehrere Wellen gleichzeitig auf ihrem Durchgang durch das Labyrinth sich befinden, dass vielmehr in der Regel eine Welle mit dem Gipfel, mit dem Maximum ihrer Verdichtung oder dem Wellenberge das Labyrinth verlassen hat, wenn das Labyrinth von dem Maximum der Verdichtung der nächsten Welle getroffen wird.

Die Dauer des Eindrucks, den eine Welle beim Durchgang durch irgend ein Theilchen des Labyrinthes an diesem hervorbringt, hängt von der Dauer einer Schwingung des tönenden Körpers ab. Beim C der 32 füssigen Pfeife beträgt diese Dauer $\frac{1}{16}$, beim $\bar{\bar{\bar{c}}}$ $\frac{1}{1024}$ Secunde.

Man muss übrigens für gewisse Fälle noch die Dicke der Wellen von der Distanz der Wellen unterscheiden. Wird der Ton durch hin und herschwingende Körper erregt, so ist diese Distanz gleich 0, und die Wellen stossen unmittelbar aneinander, wie in beistehender Figur versinnlicht ist, nur dass man sich statt der Beugungen Verdichtungen und Verdünnungen denken muss. Wird der Ton aber durch Stösse erregt, zwischen welchen Momente der Ruhe sind, so ist das schallleitende Medium schon hinter einer Welle zur Ruhe gekommen, ehe die nächste Welle beginnt, wie in beistehender Figur versinnlicht wird.



Diess ist bei der Erregung der Töne durch blosse Stösse, wie beim Savart'schen Rad und bei der Sirene möglich. Demgemäss kann auch unter gewissen Bedingungen die Dauer des Eindrucks oder Durchgangs der Wellen durch einen gegebenen Punct des Labyrinths kleiner seyn, als die Zwischenzeit ihrer Maxima.

In der Dicke einer Welle findet eine allmählige Abstufung der Dichtigkeit vom Anfang bis ans Ende statt. Am Anfang der Welle fängt die Dichtigkeit an zuzunehmen, ihre Dichtigkeit steigt am Ende des ersten Viertels zum Maximum, und nimmt bis zur Hälfte ihrer Länge ab, in dem Hintertheil der Welle ist Verdünnung, denn hier streben die vorher verdichteten Theilchen sich von einander zu entfernen. Die Verdünnung wird gegen das hintere Viertel immer stärker, und nimmt im hintern Viertel wieder ab.

Indem die Stosswelle im Labyrinthwasser fortschreitet, gehen

alle Theilchen desselben in der Richtung des Stosses successiv durch diese Grade der Verdichtung und Verdünnung durch.

Da die Verdichtung durch Annäherung der Molecule, die Verdünnung durch Entfernung derselben von einander hervorgebracht wird, so durchlaufen alle Theilchen der Welle gleichzeitig eine gewisse Bahn des Stosses. Diese Bahn ist am Anfang der Welle gering, denn der Stoss ertheilt den Theilchen eine um so geringere Bewegung, je entfernter sie von der unmittelbar gestossenen Stelle liegen. Im Hintertheil der Welle schwingen die Theilchen wieder zurück, und es findet derselbe Unterschied ihrer Geschwindigkeiten statt. Beim Durchgang der Welle durch einen Punct des Mediums, erhalten die an diesem Ort befindlichen Theilchen successive eine steigende, dann wieder abnehmende Verdichtung, und gerathen wieder im Hintertheil der Welle in Verdünnung. Zugleich wird die Geschwindigkeit, mit welcher ein Theilchen des Mediums beim Durchgang der Welle durch diesen Punct sich bewegt, successive schneller, erreicht ein Maximum wird wieder langsamer. Während des Durchgangs des Wellenthals durch diesen Punct macht das Theilchen seine rückkehrende Schwingung mit anfangs zunehmender, dann wieder abnehmender Geschwindigkeit. Alles diess ist auf den Hörnerven anwendbar.

Die Dicke der Wellen bleibt sich bei der Fortpflanzung des Schalles in alle Entfernungen gleich, aber die Bahn der schwingenden Theilchen nimmt mit dem Quadrat der Entfernungen ab. Von der Grösse der Bahn der schwingenden Theilchen hängt allein die Intensität oder Stärke des Schalls oder Gehörs ab.

Der Umfang der Wellen in der Luft ist kugelförmig. Auf das Gehörorgan trifft nur ein Stück dieser Kugel, welches man die Breite oder Flächenausdehnung der Welle nennen kann. Die Breite der Welle, welche zum Gehör benutzt wird, hängt von der Breite ab, in welcher der Gehörnerve von der Welle getroffen wird. Die von der Trommelhöhle aus zum Labyrinth gelangenden Wellen haben beim Eintritt in das Labyrinth nur die Breite des ovalen und runden Fensters, von hier aus aber breiten sie sich aus.

2. Unterscheiden der Töne.

Zur Empfindung des Schalls scheint ein einfacher Stoss auf den Gehörnerven hinzureichen, wie eine Explosion, die Theilung der Luft, das Zusammenfahren zweier getrennter Luftschichten beim Peitschenknall u. dergl. Dieser Ansicht steht wenigstens nichts entgegen, und auch Chladni findet sie wahrscheinlich, obgleich zugegeben werden muss, dass auch ein einfacher Stoss in der Luft leicht Wellen errege. Am häufigsten liegen allerdings dem Eindruck des Stosses als Schall mehrere Wellen zu Grunde. Doch kann die Frage entstehen, ob nicht bei dem Schall, der aus einer Succession von Stössen entsteht, jeder einzelne Stoss von der Stärke seyn muss, dass er allein schon als Schall gehört würde, und ob eine Succession von so schwachen Stössen, wovon jeder einzelne

wenn er allein stattfände, keinen Eindruck auf das Gehör hervorbrächte, noch gehört wird. Diese Frage ist bis jetzt nicht untersucht worden, und die Mittel scheinen zu fehlen sie zu beantworten.

Durch die schnelle Succession mehrerer Stösse von ungleichen Zwischenzeiten entsteht ein Geräusch oder Gerassel, durch die schnelle Succession mehrerer Stösse von gleichen Zwischenzeiten ein bestimmter Ton, dessen Höhe mit der Zahl der Stösse in bestimmter Zeit zunimmt. Mittelst der Sirene von Cagniard Latour und des Savart'schen Rades kann man sich diess zur Anschauung bringen. Ein bestimmter Ton entsteht auch, wenn jeder einzelne der regelmässig folgenden Stösse selbst wieder aus mehreren Stössen zusammengesetzt ist, die für sich allein schon ein Geräusch hervorbringen würden, oder aus einer hinreichend schnellen regelmässigen Folge von Geräuschen. Diess findet gerade bei den Tönen statt, die durch die erwähnten Apparate hervorgebracht werden. Denn hier ist jeder einzelne Stoss schon ein zusammengesetztes Geräusch, welches man auch leicht durchhört, wenn durch die Summirung der Geräusche der Eindruck des Tones von bestimmter Höhe entsteht.

Nun entsteht zunächst die Frage, wie viele Stösse mindestens hintereinander erforderlich sind, um als bestimmter vergleichbarer Ton gehört zu werden. Nach Savart's Untersuchungen reichen selbst 2 Stösse (das Aequivalent von 4 Schwingungen) dazu hin. Werden nämlich die Stösse durch das Anschlagen der Zähne eines Rades an einen Körper hervorgebracht, so kann man successiv alle Zähne des Rades bis auf 2 wegnehmen, ohne dass der Ton als bestimmter in der Scala aufgehoben wird. Wird ein Rad mit 2000 Zähnen, das sich einmal in der Secunde umdreht, auf die Hälfte der Zähne reducirt, indem man sie an der ganzen einen Hälfte des Rades wegnimmt, so wird das Intervall der Stösse natürlich nicht gestört, aber man kann mit dem Wegnehmen der Zähne fortfahren, bis auf 2 und dreht sich das Rad noch mit derselben Geschwindigkeit, nämlich einmal in der Secunde um, so kann der aus beiden Stössen resultirende Ton noch mit dem Ton eines Instrumentes verglichen, und der Einklang dazu aufgesucht werden.

Werden hingegen die Zähne des Rades bis auf einen reducirt, so wird nicht mehr der bestimmte Ton, sondern nur das Geräusch gehört, welches der eine Zahn hervorbringt, es sey denn, dass das Rad so schnell gedreht werde, dass das Intervall von dem einem bis zum nächsten Stoss des einen Zahnes nicht grösser ist, als das Intervall der Stösse des bestimmten Tons es erfordert.

Werden die Töne durch Schwingungen erregt, wovon die nächste regelmässig anfängt, wenn die vorhergehende aufgehört hat, so kann es zweifelhaft seyn, ob nicht die Höhe des Tons von der Länge der Welle oder einer andern Eigenschaft derselben abhängig ist. Aus den Versuchen mit dem Savart'schen Rad folgt hingegen, dass die Eigenschaft der Höhe des Tones in keiner Weise von der Beschaffenheit der Wellen abhängig ist. Bei

den Tönen, die durch das Rad erzeugt werden, sind die Stösse eines Körpers, der durch die Zähne des Rades erhoben wird, gegen die Luft ganz gleich, mag das Rad schnell oder langsam gedreht werden, nur das Intervall der Stösse ist ungleich.

Die Frage, von dem Maximum und Minimum der Intervalle der Stösse, welche als Töne noch vergleichbar sind, ist auch durch Savart befriedigender und richtiger als früher beantwortet worden. Bei gehöriger Stärke können noch Töne gehört werden, die 48000 einfachen Schwingungen in der Secunde oder 24000 Stössen entsprechen und wahrscheinlich ist selbst diess nicht die Grenze der höchsten hörbaren Töne. Auch sind 32 einfache Schwingungen in der Secunde nicht die Grenze der tiefsten Töne, wie man angenommen, vielmehr konnte Savart noch Töne vernehmlich machen, bei denen nur 14—18 einfache Schwingungen oder 7—8 Stösse in der Secunde stattfinden; und auch noch tiefere Töne sind wahrscheinlich hörbar, wenn die Stösse die hinlängliche Dauer haben. Die Dauer, welche ein Stoss haben muss, um gehört zu werden, ist nämlich in dem Verhältniss kürzer als der Ton höher ist, weil die Zwischenzeit zwischen 2 Stössen bei den höheren Tönen in entsprechendem Verhältniss abnimmt. Bei den tieferen hörbaren Tönen muss also die Dauer der Stösse um so länger seyn, je tiefer sie sind. Um den Stössen bei den tiefsten Tönen längere Dauer zu geben, wandte Savart ein Rad mit 2 oder 4 freien Speichen an, welche, indem sie zwischen 2 Latten, ohne sie zu berühren, durchschlagen, beim Drehen des Rades durch Verdichtung und Verdünnung der Luft starke, einzeln hörbare Stösse hervorbringen, welche sich zum Eindruck eines Tones bei hinreichend schneller Umdrehung des Rades summiren. Die Savart'schen Apparate lassen übrigens eine genaue Zählung zu, da sie mit einem Zähler verbunden sind, dessen Umläufe sich nach Belieben arretiren lassen.

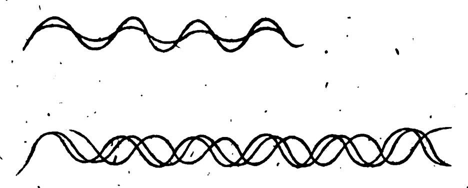
Durch Wegnehmen einzelner oder mehrerer Zähne aus einem umlaufenden Rade konnte sich Savart auch überzeugen, dass der Eindruck auf den Gehörnerven (wie das auch beim Licht der Fall ist) länger als der Stoss dauert. Denn das Wegnehmen eines Zahns bringt keine Unterbrechung des Tons hervor, wie weit dieser Nacheindruck dauert, ist schwer auszumitteln, da der Eindruck nur allmählig erlischt.

Ann. de Chim. et de Phys. XLIV. 337. *XLVII.* 69. Poggend. *Ann. XX.* 290. Fechner's *Repert. I.* 335.

3. Hören mehrerer gleichzeitiger Töne.

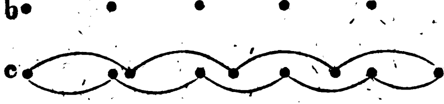
Der einfachste Fall dieser Art ist das Hören zweier gleichzeitiger Töne, die im Einklang sind. In diesem Fall sind die Intervalle gleich; entweder fallen die Maxima der Stösse aufeinander, was selten zutreffen wird, oder sie fallen nicht auf einander. Im ersten Fall entstehen stärkere Verdichtungen, wie die erste Figur versinnlicht, im letztern bei 2 oder mehreren Tönen, die im

Einklang sind, hinter einander folgende Maxima, die eine Reihe bilden, wie in beistehender zweiter Figur, so dass die Glieder der



Reihen unter einander correspondiren und die Intervalle dieselben bleiben. Diess kann in keiner Weise störend für das Gehör seyn. Hierher gehört auch die Resonanz, denn die resonirenden und ursprünglichen Wellen verhalten sich, da sie gleich sind, gerade so, wie die Wellen mehrerer unisoner Töne, die primitiv angegeben werden. Die beistehende Figur kann daher auch als Bild für die Gleichzeitigkeit primitiver und resonirender Wellen dienen. Bei der Erzeugung des Klanges kreuzen sich die Wellen des Tons mit Nebenwellen.

Das Hören zweier gleichzeitiger Töne von verschiedener Zahl der Schwingungen muss schwerer seyn, als das Hören eines Tons, denn die Vergleichung der Intervalle ist erschwert dadurch, dass die Maxima der Schwingungen des einen in die Schwingungen des andern fallen. Werden z. B. 2 Töne *a*, *b* mit den hierneben



bezeichneten Intervallen gehört, so entsteht aus den beiden Reihen der unter einander verzeichneten Intervalle die zusammengesetzte Reihe *c*. Werden die 2 Töne durch 2 Räder mit gleich gebildeten Zähnen hervorgebracht, so sind selbst die einzelnen Stösse gleich, und die Art des Stosses kann nicht die Ursache seyn, dass man den einen Ton durch den andern durchhört. Dennoch findet die Unterscheidung beider gleichzeitiger Töne statt, wie ich mich durch einen Versuch überzeugt habe. Diese Unterscheidung muss also auch dann von der Wahrnehmung der Intervalle des einen und andern Tones in der ganzen Reihe der Stösse abhängen. Während die ganze zusammengesetzte Reihe der Stösse abläuft, hat also das Ohr die Fähigkeit die durch gleiche Intervalle getrennten Maxima der Stösse *a*, zwischen den übrigen Stössen *b* wahrzunehmen und umgekehrt, weil sie immer wiederkehren. Die noch kleineren Intervalle, welche durch die Kreuzung der beiden Reihen entstehen müssen, werden überhört, weil sie nicht regelmässig wiederkehren, sehr ungleich ausfallen, je nach ihrer Lage. Diese Unterscheidung hat Aehnlichkeit mit dem Unterscheiden bei zusammengesetzten Gesichtsbildern. In der Figur p. 364. kommen die Hauptdreiecke, ferner das mittlere Sechseck und die peripherischen kleineren Dreiecke zugleich zur Anschauung, aber es hängt auch von der Vorstellung ab, welche Impression augenblicklich die lebhafteste ist. So ist es auch bei mehreren oder vielen Tönen. Die Vorstellung nimmt dann bestimmte Intervalle stärker oder deutlicher wahr, als die übrigen. So sind wir im Stande einzelne Töne eines Instrumentes in einem ganzen Tutti zu unterscheiden. Hierzu trägt natürlich sehr viel bei, dass

verschiedene Instrumente einen verschiedenen Klang haben. Daher dann die Stösse ihrer Töne durch Nebenschwingungen sich auszeichnen werden.

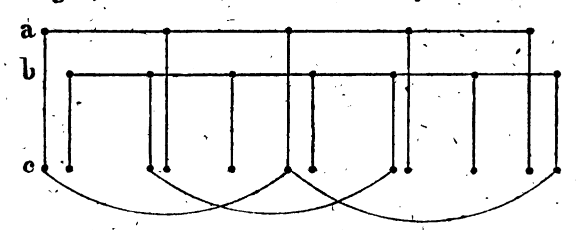
Von besonderem Interesse wird der Fall, wenn zwei gleichzeitige Töne beinahe unison, aber nicht ganz unison sind, so dass z. B. der eine 100, der andere 101 Stösse in der Secunde macht. Dann werden die Stösse des einen allmählig denen des andern voraus eilen, bis sie alle Secunden wieder aufeinander fallen. Die Maxima der Stösse beider Töne werden in der Hälfte einer Secunde am weitesten auseinander liegen, und hier sogar eine Verdünnung des einen und eine Verdichtung des andern sich decken, oder aufheben, wie in beistehender Figur bei wenigen Wellen versinnlicht ist. Dagegen decken sich alle Secunden die Maxima beider Töne, oder verstärken sich. Vom Anfang bis zur Mitte der Figur nimmt die Stärke des Tones ab, indem mehr und mehr auf die Verdichtung des einen, etwas von der Verdünnung des andern kommt, bis sie sich ganz aufheben, von da an wird der Ton durch allmählige Entfernung der Verdünnung des einen von der Verdichtung des andern wieder zunehmen, bis sich am andern Ende wieder bloss die Verdichtungen decken. In der Mitte müsste eigentlich einen Moment vollkommene Stille seyn. Da keine Unterbrechung eintritt, sondern hier nur der Ton am schwächsten ist, so kann der Versuch auch als zweiter Beweis dienen, dass der Eindruck auf den Gehörnerven länger dauert, als die Ursache. Sind 2 gleichzeitige Töne beinahe aber nicht ganz unison, so hört man, ausser dem bestimmten Werthe des Tons, ein wogendes Wachsen und Abnehmen desselben an Stärke. Man nennt diess die Schwebung. Diess Phaenomen wird leicht beim Anschlagen zweier nicht ganz unisono gestimmter Saiten des Monochords bemerkt.

Zwei gleichzeitige Töne, die ein einfaches Verhältniss ihrer Schwingungen zu einander haben, wie 2 zu 3, 3 zu 4, 4 zu 5 und bei welchen sich das Zusammenfallen zweier Stösse hinreichend schnell wiederholt, bringen durch dieses Zuammenfallen einen dritten subjectiven Ton hervor, der jedoch seine Ursachen auch ausser dem Hörenden hat. Gesetzt der eine Ton *a* mache 2 Schwingungen, während der andere *b* drei macht, so fallen, wenn die Stösse beider zugleich begonnen haben, jedesmal nach 2 Intervallen des einen und 3 des andern, die Stösse des einen und andern auf einander und diess giebt Veranlassung, dass diese stärkeren Stösse c mit grösseren Intervallen für sich noch als dritter oder Tartinischer Ton gehört werden. Beistehende Figur erläutert diess, nur muss bemerkt werden, dass die Puncte nicht

a • • • • •
b • • • • • • •
c • • •

die Stösse, sondern nur die Maxima der Stösse andeuten, und dass man sich mitten zwischen den Puncten die Maxima der Verdünnung vorstellen muss. Diese Töne kann man sowohl durch Saiten- als Pfeifentöne zur Erscheinung bringen, wenn die primitiven Töne hinlänglich stark und anhaltend sind. Wird die $\overline{d}$ Saite einer Geige in $\overline{e}$ gestimmt und diese mit der $\overline{a}$ Saite anhaltend gestrichen, so kommt das tiefe A zum Vorschein. So erhält man mit $\overline{\overline{c}}$ und $\overline{\overline{e}}$ das c, mit $\overline{\overline{h}}$ und $\overline{\overline{d}}$ das g. Siehe Gehler's *physical. Wörterbuch.* 8. *p.* 318. Fechner's *Repert. I. p.* 257. Unter Umständen kömmt auch noch ein zweiter Tartinischer Ton zum Vorschein, wie sich schon aus den Voraussetzungen erwarten lässt und Blein beobachtet hat.

In obigem Beispiel wurde angenommen, dass beide Töne in demselben Moment ihren ersten Stoss machen. Ist das nicht der Fall, so wird auch ein vollständiges Coincidiren der Stösse nicht stattfinden können, sondern nur ein Maximum der Approximation an den bestimmten Zeitpuncten eintreten, d. h. der eine Ton hat dann hier das Maximum seines Stosses erreicht, wenn der andere es noch nicht erreicht hat, wie in beistehender Figur versinnlicht wird. Die Reihen *a* und *b* haben dieselben Intervalle, wie in obigem Beispiel, *a* macht 2 Stösse, während *b* 3 macht. Aus beiden Reihen entsteht die zusammengesetzte Reihe *c*. Diese sich wiederholende Approximation der Maxima ist aber auch schon hinreichend um wahrgenommen zu werden und den Tartinischen Ton hervorzubringen, der nur nicht so stark seyn kann, als im vor-



hergehenden Fall. Je grösser die Approximation der Maxima ist, um so stärker ist der Tartinische Ton. Hieraus wird zugleich klar, warum in der Beobachtung dieses Tons so viel Inconstantes ist, und wie auf ihn niemals in der Musik gerechnet werden könne.

Der Tartinische Ton, welcher immer tiefer ist, als die primitiven Töne, muss als subjectiver wohl unterschieden werden von den höheren Nebentönen der Saiten, Glocken u. s. w., welche ausser dem Grundton gehört werden, und welche zu den Flageolettönen gehören. Sie haben eine objective Ursache in dem tönenden Instrumente selbst.

Harmonie der Töne.

Musicalische Tonverhältnisse.

Die üblichen musicalischen Tonverhältnisse gründen sich theils

darauf, wie gross oder gering die Unterscheidungskraft des Gehörsinnes für den Gesammteindruck einer gewissen Zahl der Schwingungen ist, theils darauf, dass einfache Verhältnisse der Töne zu einander in Hinsicht der Zahl ihrer Schwingungen dem Sinn angenehm sind.

Am leichtesten aufzufassen ist für das Gehör das Verhältniss von 1:2:4:8 u. s. w., das des Grundtons zur Octave und zu weiteren Octaven. Töne, wovon der eine noch einmal so viel Stösse in derselben Zeit, als der andere macht, sind sich so ähnlich, dass sie nur als Wiederholungen wirken, daher wird das Verhältniss zweier Töne nicht wesentlich geändert, wenn man einen von beiden um eine oder mehrere Octaven höher oder tiefer nimmt. Leicht wahrnehmbar und angenehm, weil einfach, ist auch das Verhältniss von 2 zu 3 oder des Grundtons zur Quinte, von 4 zu 5 oder des Grundtons zur Terze. Bezeichnet man den Grundton mit 4, so ist die Terze also 5, die Quinte 6 und die Octave 8, oder nimmt man 1 als Grundton, so erhält man:

c	e	g	$\bar{c}$
1	$\frac{5}{4}$	$\frac{3}{2}$	2
Grundton,	Terze,	Quinte,	Octave,

welche vier Töne zusammen den einfachsten und wirksamsten Accord bilden, während schon die 3 ersten einen sehr angenehmen Dreiklang hervorbringen.

Hierbei ist jedoch die Musik nicht stehen geblieben, und es giebt noch andere Tonverhältnisse, welche einer leicht verständlichen angenehmen Anwendung fähig sind. Der Ton, zu welchem die Octave 2 eine Quinte bildet, oder sich wie 3:2 verhalten würde, ist $\frac{4}{3}$ oder f, er hat ein ebenso einfaches Verhältniss zum Grundton c als zur Octave $\bar{c}$, die Terze von g ist ferner $\frac{15}{8}$ oder h.

c	e	f	g	h	$\bar{c}$
1	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{15}{8}$	2

Zwischen c und e liegt noch ein Ton, der sich zu g der tiefern Octave, wie eine Quinte verhält, das ist d mit $\frac{9}{8}$.

Endlich verhält sich c zu d oder 1:$\frac{9}{8}$, wie ein zwischen g und h liegender Ton a zu h, es ist $\frac{5}{3}$.

Diess sind die Töne der musicalischen Tonleiter.

c	d	e	f	g	a	h	$\bar{c}$
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

In dieser Reihe verhält sich

c	zu	d	wie	1:$\frac{9}{8}$
d	»	e	»	1:$\frac{10}{9}$
e	»	f	»	1:$\frac{16}{15}$
f	»	g	»	1:$\frac{9}{8}$
g	»	a	»	1:$\frac{9}{10}$
a	»	h	»	1:$\frac{9}{8}$
h	»	c	»	1:$\frac{16}{15}$

Die Verhältnisse 1:$\frac{9}{8}$ und 1:$\frac{10}{9}$ nennt man ganze Töne oder grosse Intervalle, das Verhältniss 1:$\frac{16}{15}$ einen halben Ton oder kleines Intervall. Zwischen den Tönen, die durch das grosse

Intervall getrennt sind, werden noch kleine Intervalle oder halbe Töne unterschieden.

Die Erhöhung eines Tons um einen sogenannten halben oder um das Verhältniss $1 : \frac{16}{15}$ ist natürlich der Erniedrigung des folgenden um ebenso viel nicht gleich, und also *cis* von *des* verschieden. Das Intervall $1 : \frac{5}{4}$ oder c : e heisst die grosse Terze, das Intervall $1 : \frac{6}{5}$ oder c : es die kleine Terze.

Bei einem consonirenden Accord von mehreren Tönen müssen sie ein einfaches Verhältniss zum Grundton haben, und auch unter sich in einem einfachen Verhältniss stehen. Nur in diesem Falle bringt die Vereinigung dieser Töne eine angenehme Wirkung hervor. c : e : g oder $1 : \frac{4}{5} : \frac{3}{2}$ bilden einen harmonischen Dreiklang, denn e verhält sich zu c einfach wie 5 : 4, und g zu c wie 3 : 2, aber auch e und g consoniren; denn sie verhalten sich wie $1 : \frac{6}{5}$. Dagegen werden c : es : e oder $1 : \frac{6}{5} : \frac{5}{4}$ keinen harmonischen Accord bilden. Denn c consonirt zwar mit es wie $1 : \frac{6}{5}$, und c consonirt mit e wie $1 : \frac{5}{4}$; aber e und es consoniren nicht; denn $\frac{6}{5} : \frac{5}{4}$ ist $= 1 : \frac{25}{24}$. Die Ursache der Harmonie ist also die Einfachheit der Zahlenverhältnisse.

Der Dreiklang des Grundtons mit der grossen Terze und der Quinte c : e : g oder $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ heisst der Durdreiklang, der Dreiklang des Grundtons mit der kleinen Terze und der Quinte c : es : g oder $1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2}$ heisst der Molldreiklang. Sie bestehen beide aus einer grossen Terze und einer kleinen Terze $\frac{5}{4}$ und $\frac{6}{5}$, beide zusammen bilden eine Quinte. Im Durdreiklang geht die grosse der kleinen Terze, im Molldreiklang die kleine der grossen Terze voraus. Beide Dreiklänge haben eine verschiedene Wirkung auf das Gehör. Beim Durdreiklang ist die Consonanz befriedigender als beim Molldreiklang.

Auch die Dissonanzen sind von angenehmer Wirkung auf das Gehör, wenn sie den Uebergang zu Consonanzen bilden, und die Dissonanzen also aufgelöst werden. Ein dissonirender Accord enthält ausser consonirenden Intervallen, auch ein dissonirendes. Mit dem Grundton, der Terze und der Quinte consonirt die Octave, die Septime aber dissonirt. Der Septimaccord kann als Beispiel eines dissonirenden Accordes dienen, er enthält zu Grundton, Terze und Quinte noch die Septime. Eine Dissonanz wird aufgelöst durch einen Accord, der statt des dissonirenden Tons den consonirenden enthält, oder mit dem dissonirenden Ton consonirt. Das Verhältniss ist ein Aehnliches, wie beim Sehen mehrerer Farben, die Disharmonie von Blau und Roth wird aufgelöst, dadurch, dass zwischen beide eine andere Farbe tritt, welche harmonisch zu einer von beiden, indifferent zur andern ist. Grün zwischen Roth und Blau löst die Disharmonie auf, weil es harmonisch mit Grün, indifferent gegen Blau ist. Dieselbe Wirkung thut Orange, welches harmonisch zu Blau, indifferent zu Roth ist. Siehe oben p. 375. Die Wirkung der Dissonanzen sowohl als Consonanzen auf das Gehör hat Descartes sehr gut in der von Chladni angeführten Stelle bezeichnet. Inter objecta sensus illud non animo gratissimum est, quod facile sensu percipitur, neque etiam difficillime, sed quod non tam facile, ut

naturale desiderium, quo sensus feruntur in objecta, plane non impleat, neque etiam tam difficulter, ut sensus fatiget. Die Harmonie der Octaven ist zu einfach, um zu befriedigen, und selbst die Dissonanz wird befriedigend, wenn sich ihre schwierige Auffassung in ein leichteres Verhältniss abspannt.

Die Anwendung der Intervalle mit arithmetischer Reinheit, wie sie das Gehör an sich erfordert, wird bei einer grössern Folge von Tönen unmöglich, wie aus folgendem von Chladni erwähnten Beispiel erhellt. Wenn man allein die Intervalle von g, c, f, d, g, c hintereinander rein ausübt, so hat schon das zweite c nicht mehr den Werth des ersten, und ebenso mit g. Rein ausgeübt verhält sich

$$g:c = 3:2$$
$$c:f = 3:4$$
$$f:d = 6:5$$
$$d:g = 3:4$$
$$g:c = 3:2$$

oder g:c:f:d:g:c verhält sich wie 243:162:216:180:240:160. Das erste Mal hat g den Werth von 243, das zweite Mal von 240, das erste Mal c den Werth von 162, das zweite Mal von 160 Bei weiterer Wiederholung würde man sich immer mehr von dem ursprünglichen Werthe der Töne entfernen. Die sogenannte Temperatur hilft diesem Uebelstande durch eine geringe aber dem Gehör unmerkliche Unreinheit der Töne ab, die Abweichung heisst die Schwebung. Wenn die Unreinigkeit gleichförmig vertheilt wird, so heisst die Temperatur gleichschwebend, wenn die Vertheilung ungleichförmig ist ungleichschwebend. Die erstere hat sich als brauchbarer allgemein in der Musik erhalten. Dagegen der Versuch die Reinheit einzelner Töne zwischen den Octaven zu erhalten nur zum grössern Nachtheil für die übrigen Töne ausfällt. Die Nachtheile der gleichschwebenden Temperatur sind dem Gehör nicht merklich, so wenig als überhaupt geringe Abweichungen in der Stimmung eines Instrumentes auffallen. Wären so kleine Unterschiede dem Gehör bemerkbar, so würde überhaupt die Ausübung der reinen Intervalle auf Instrumenten unmöglich seyn, da eine vollkommen reine Stimmung eines Instrumentes für den practischen Gebrauch schon mit den grössten Schwierigkeiten verbunden ist.

Ausführliche Belehrung über die Tonverhältnisse findet man in Chladni's *Akustik*.

Hören und Vorstellen.

Die Unterscheidung der Richtung des Schalls ist kein Act der Empfindung selbst, sondern des Urtheils, zufolge schon gewonnener Erfahrungen, aber wegen der Modification des Gehörs nach der Richtung des Schalls versetzt die Vorstellung den schallenden Körper in eine gewisse Richtung. Das einzige sichere Leitungsmittel hierbei ist die stärkere Wirkung des Schalles auf eines der beiden Ohren. Die Reflexion, die Resonanz, die ungeschwächte Fortleitung des Schalls durch die Luft gekrümmter Communicationsröhren machen jedoch auch hier vielfache Täuschung möglich.

Durch die condensirte Fortleitung des Schalles in lufthaltigen Röhren, oder durch feste Leiter auf einen fernen Resonanzboden kann die Täuschung entstehen, als wenn der Ort der Entstehung das Ende des Rohrs oder im zweiten Fall der Resonanzboden wäre. Ferner kann die Richtung des Schalles auch durch ein Ohr ermittelt werden, dadurch, dass dem Kopfe und Ohr eine verschiedene Stellung gegeben wird, wodurch die Schallwellen bald senkrecht, bald schief auf das Ohr einfallen müssen. Fällt das erst genannte und das letztere Hülfsmittel der Unterscheidung weg, haben beide Ohren eine gleiche Stellung gegen den Ort des Schalls, wenn er z. B. vor oder hinter uns erregt wird, so haben wir kein Mittel zu unterscheiden, ob die Schallwellen von vorne oder hinten kommen, wie aus VENTURINI's Versuchen (VOIGT's *Magazin B.* 2.) und schon aus physicalischen Gesetzen folgt. Die Wellen bewirken nicht bloss den verdichtenden Stoss in einer, sondern auch den verdünnenden Stoss in der entgegengesetzten Richtung; folgen sich mehrere Wellen auf einander, so wechseln beiderlei Stösse regelmässig mit einander ab. Würde man auch die Richtung des Stosses selbst auf den Nerven unterscheiden können, so hätte man doch im zuletzt erwähnten Fall ebenso viel Grund den Schall in die eine, als in die entgegengesetzte Richtung zu setzen.

Die Bauchredner benutzen die Unsicherheit der Unterscheidung der Richtung des Schalls und die Macht der Vorstellung auf unser Urtheil, indem sie in eine gewisse Richtung sprechen und thun als wenn sie von dort aus den Schall hörten.

Die Entfernung des Schalls wird nicht empfunden, sondern nach seiner Stärke beurtheilt, der Schall selbst ist immer an einem und demselben Ort in unserm Ohr, den schallenden Körper setzen wir nach aussen. Die Dämpfung der Stimme, wie sie gehört wird aus der Ferne, erregt auch die Vorstellung ihrer Ferne, wie beim Bauchreden.

Die Vorstellung wirkt aber auch auf den Act der Empfindung selbst ein, und die Empfindung erhält durch die Aufmerksamkeit Schärfe. Diese unterscheidet einzelnes bestimmtes Geräusch unter mehreren oder vielen Tönen stärker, begleitet das Spiel eines einzelnen Instrumentes in einem vollen Orchester. Wird uns durch beide Ohren von verschiedenen Personen verschiedenes gesagt, so vermengen sich beiderlei Eindrücke; nur durch angestrengte Aufmerksamkeit und bei Ungleichheit des Klanges von beiderlei Tönen sind wir im Stande der einen Reihe zu folgen und die andere Reihe als störendes Geräusch mehr oder weniger zu überhören. Die willkührliche Steigerung der Aufmerksamkeit auf Töne heisst das Horchen. Fehlt die Intention der Seele auf das, was durch den Hörnerven dem Sensorium commune beigebracht wird, so hören wir selbst den vorhandenen Schall nicht. Oft aber auch wird Etwas nur so schwach gehört, dass man es wegen Mangel an Aufmerksamkeit bei anderweitiger Beschäftigung augenblicklich überhört, hernach aber sich des Schalls erinnert und Aehnliches kömmt bei andern Sinnen vor. Die entgegengesetzten Acte des Vorstellens stören sich gleichsam, wie Wellen von entgegen-

gesetzten Eigenschaften, welche nach dem Durchgang durch einander ihre Bahn fortsetzen.

Nachempfindung des Gehörs.

Schon aus den oben angeführten Versuchen von Savart folgt, dass der Eindruck der Schallwellen auf den Gehörnerven etwas länger dauert, als der Durchgang der Wellen durch das Ohr. Durch eine sehr lange Dauer oder lange anhaltende Wiederholung desselben Schalles lässt sich aber die Nachempfindung im Nerven noch viel länger, ja über 12 — 24 Stunden festhalten, wie jeder weiss, der mehrere Tage ohne Unterbrechung in einem schweren Postwagen gefahren ist. Leicht hört man dann in der Ruhe sehr lange das Poltern und Geräusch fort.

Hieraus lässt sich einsehen, dass das Empfinden des Schalles als Schall nicht in letzter Instanz von der Existenz der Stosswellen abhängt, und dass der Schall als Empfindung ein Zustand des Gehörnerven ist, der durch Stösse zwar erregt werden kann, aber auch in anderer Weise möglich ist. Beim Gesichtssinn hat man die Nachempfindungen durch die Annahme erklären zu können geglaubt, dass das Licht als Materie von der Retina eine Zeit lang festgehalten werde, wie bei der Absorption des Lichtes. Hier beim Gehör fällt dagegen die Unstatthaftigkeit einer solchen Erklärung sogleich in die Augen. Kein reizender Stoff und kein Stoss kann hier festgehalten werden, und wenn die durch den Stoss erregten Wellen perenniren sollten, so müssten es jedenfalls Fluctuationen des Nervenprincips selbst im Hörnerven seyn, die so lange erfolgten, bis das Gleichgewicht hergestellt ist.

Doppelthören.

Dem Doppeltsehen desselben Gegenstandes durch zwei Augen entspricht das Doppelthören durch 2 Ohren, dem Doppeltsehen mit einem Auge wegen ungleicher Brechung, das Doppelthören mit einem Ohr wegen ungleicher Leitung. Die erstere Art des Doppelthörens ist sehr selten. Hierher gehören die von Sauvages und Itard angeführten Fälle. In dem einen der zwei Fälle von Sauvages wurde ausser dem Grundton auch dessen Octave gehört, was, wenn es richtig, schwer erklärlich seyn würde. In dem Falle von Itard wurden durch beide Ohren verschieden hohe Töne gehört. Dergleichen Fälle mögen wohl bei aufmerksamerer Beobachtung nicht so selten seyn; mich ängstigte selbst einmal eine Art höhern Nachhalls, den ich bei Tönen von mässiger Stärke, wie der menschlichen Stimme hörte. Diese Erscheinung war aber sehr vorübergehend und sie ist mir seitdem nicht wieder vorgekommen, auch weiss ich nicht, ob der Nachhall von ungleicher Wirkung beider Ohren herrührte.

Die zweite Art des Doppelthörens, die nicht von der ungleichen Wirkung beider Ohren, sondern von ungleicher Leitung desselben Tones durch zwei Media zum Ohr herrührt, kann man leicht versuchen, z. B. wenn man den Ton eines im Wasser schal-

lenden Glöckchens bei verstopften Ohren durch die Luft hört und zugleich mitteist eines festen Conductors, der ans Ohr und ins Wasser gehalten wird, aus dem Wasser hört. Beide Töne sind an Stärke und Klang verschieden. Ebenso wenn man durch die mit Membran geschlossene Pfeife, die ins Wasser gehalten wird, einen Ton hervorbringen lässt, der auf die eine und andere Art, durch die Luft und durch den Conductor aus dem Wasser zu dem verstopften Ohre kommt.

Schärfe des Gehörs.

Beim Sehen muss die Schärfe des Gesichtes in verschiedene Fernen, für die räumlichen Unterschiede der Netzhauttheilchen, für Hell und Dunkel und für die Farbennüancen unterschieden werden. Beim Gehör giebt es keine Parallele zur Fähigkeit für verschiedene Fernen das Sehen einzurichten; auch die Schärfe der räumlichen Unterscheidung im Nerven fällt weg. So wie Einer im Hellen nur deutlich, ein Anderer nur bei mässigem Lichte deutlich sieht, so giebt es eine verschiedene Ausbildung des Gehörs für das Unterscheiden tiefer und hoher Töne. Und so wie ein scharf sehender doch die Farben schlecht unterscheiden und keinen Sinn für Farbenharmonie und Disharmonie haben kann, so fehlt bei gut Hörenden, welche auch schwaches Geräusch unterscheiden, zuweilen der Sinn für Unterscheidung der musicalischen Unterschiede der Töne und für Harmonie und Dissonanz, da hingegen auch ein Schwachhörender diesen Sinn haben kann. Manche Menschen hören im Allgemeinen gut, aber die Grenze des Hörens hoher Töne tritt bei ihnen bald ein. Wollaston hat Beispiele davon beobachtet. Schwerhörige hören zuweilen sehr hohe Töne noch ganz gut. Unter die Ursachen dieser Erscheinung gehört, wie oben erklärt worden, die zu grosse Spannung des Trommelfells aus was immer für einer Ursache. Manche Schwerhörige hören besser bei starkem Lärm schwächere Töne. *Paracusis Willisiana.* Willis beschrieb zwei Beispiele dieser Art, von einer Person, die sich nur unterhalten konnte, wenn eine Trommel neben ihr geschlagen wurde, einer andern, die nur während des Läutens der Glocken hörte. Aehnliche Fälle sind von Holder, Bachmann, Fielitz beobachtet. Siehe Muncke in Gehler's *physic. Wörterbuch.* 4. 2. *p.* 1220. Diese Erscheinung kann von einem Torpor des Gehörnerven herrühren, welcher zur Schärfung seiner Thätigkeit erregt werden muss. Zuweilen mag auch der Umstand, dass ein Schwerhöriger bei grossem Lärm besondere Töne so gut wie Andere hört, davon herrühren, dass er von dem Geräusch wenig, Guthörende aber viel davon gestört werden. So erklärt z. B. der Schwerhörige, von dem p. 438. berichtet wurde, dass er in einem fahrenden geschlossenen Wagen mit Andern sitzend, an der Unterhaltung sehr gut Theil nehmen kann. Die Anderen, sagt er, hören dann die Stimmen der im Wagen sprechenden nicht besser als er selbst, weil sie das Gerassel des Wagens stärker hören. Das zu scharfe Gehör, Hyperacusis entspringt von zu grosser Reizbarkeit des Hörnerven und entspricht der Pho-

tophobie beim Sehen. Die Ursachen des Mangels des musicalischen Gehörs sind unbekannt. Wer ein schlechtes musicalisches Gehör hat, wird bei einer schönen Stimme ein schlechter Sänger seyn.

Subjective Töne.

Rein subjective Töne sind nur solche, die nicht durch Stosswellen, sondern durch einen Zustand der Reizung im Hörnerven bedingt werden, der Hörnerve hört in jedem Zustande von Reizung diese als Schall. Hierher gehört das nervöse Klingen und Brausen in den Ohren bei Nervenschwachen, Hirnkranken und bei solchen, deren Hörnerve selbst krank ist und das Rauschen in den Ohren nach langem Fahren in polternden Wagen. Die Electricität erregte in Ritter's Versuchen einen Ton im Ohr. In diesem Fall wird die Affection des Hörnerven von dem blossen Strome des electrischen Fluidums bewirkt, der in der Retina Lichtsehen, in den Gefühlsnerven eine Gefühlsempfindung, in den Geruchsnerven einen phosphorigen Geruch, in den Geschmacksnerven einen säuerlichen oder scharfen Geschmack bedingt. Siehe die Einleitung in die Physiologie der Sinne.

Von den rein subjectiven Tönen müssen diejenigen unterschieden werden, deren Ursache nicht bloss im Hörnerven, sondern in einem in den Gehörwerkzeugen selbst erzeugten Schall liegt. Dahin gehört das Braussen bei Congestionen nach dem Kopf und Ohr, bei aneurysmatischer Ausdehnung der Gefässe. Oft schon hört man die einfache pulsirende Circulation des Bluts im Ohr, als stossweises Gezisch. Hierher gehört ferner das Knacken bei der Zusammenziehung der Muskeln der Gehörknöchelchen, das Rauschen bei der Zusammenziehung der obern Gaumenmuskeln, beim Gähnen, bei der Verdichtung der Luft der Trommel und Spannung des Trommelfells, beim Schneutzen, bei gewaltsamer weiter Abziehung des Unterkiefers u. s. w.

Das Ohrenbraussen von Verstopfung der Eustachischen Trompete lässt sich noch nicht hinreichend erklären.

Bei Henle findet die individuelle Eigenthümlichkeit statt, dass ein leises Fahren mit dem Finger über die Backe, ein Rauschen im Ohr bewirkt. Diess kann von einer Reflexwirkung vom Facialis auf das Gehirn und sofort auf den Acusticus, oder auch von einer Reflexbewegung der Muskeln der Gehörknöchelchen entstehen.

Sympathieen des Gehörnerven.

Reizungen des Gehörnerven können Bewegungen und auch Empfindungen in andern Sinnen hervorbringen. Beides geschieht wahrscheinlich nach den Gesetzen der Reflexion durch Vermittelung des Gehirns. Ein heftiger Schall bewirkt bei jedem Menschen ein Zucken der Augenlieder, bei Nervenschwachen ein Zusammenfahren des ganzen Körpers.

Die Empfindungen nach Gehöreindrücken sind vorzüglich Gefühlsempfindungen. Bei Nervenschwachen entsteht auf einen plötzlichen Schall zuweilen eine unangenehme Gefühlsempfindung, wie von einem electrischen Schlag im ganzen Körper, oder auch wohl eine Gefühlsempfindung im äussern Ohr. Manches Geräusch, wie das von Reiben des Papiers, von Ritzen in Glas u. dgl., erregt Vielen eine unangenehme Empfindung in den Zähnen, oder gar ein Rieseln durch den Körper.

Manchen Menschen soll bei heftigen Tönen der Speichel im Munde zusammenfliessen. Mehrere andere hierher gehörende Beispiele von Sympathie haben Tiedemann (*Zeitschr. f. Physiol. B.* 1. *H.* 2.) und Lincke *a. a. O. p.* 567. gesammelt.

Das Gehör kann ferner von vielen Theilen des Körpers aus, namentlich aber in Krankheiten des Unterleibs und in fieberhaften Affectionen, verändert werden. Auch in diesen Fällen ist die Vermittelung durch die Centraltheile wahrscheinlich.

Veränderungen des Gehörs durch Sinnesempfindungen anderer Art sind sehr selten. Hierher gehört die oben erwähnte Beobachtung von Henle an sich, dass leises Bestreichen der Backe ein Braussen im Ohr bei ihm erzeugt. Hin und wieder ist behauptet worden, dass auch Gefühlsnerven der Gehörempfindung, oder wenigstens der stärkern Leitung der Schallwellen zu dem Orte der Gehörempfindung fähig seyen. Eine solche Leitung ist in keinem Falle wahrscheinlich. Dass hingegen eine Gefühlsempfindung durch Reflexion auf den Gehörnerven wirke, ist sehr wahrscheinlich, da ähnliche Wechselwirkungen zwischen den anderen Sinnen vorkommen, und das Gehör auch Gefühlsempfindungen hervorruft. Allein die Wirkung einer Gefühlsempfindung auf das Gehör ist ausserordentlich selten.

Die Chorda tympani und der Nervus facialis sind dem Gehör fremd und nur in dem letztgenannten Sinne einer Wechselwirkung mit demselben fähig.

III. Abschnitt. Vom Geruchssinn.

I. Capitel. Von den physicalischen Bedingungen des Geruchs.

Der Geruchssinn wird in der Regel nur durch materielle Einwirkungen und entsprechende Veränderungen des Geruchsnerven zur Thätigkeit gereizt. Wie der Geschmackssinn ist der Geruchsnerve nach Art der materiellen Einwirkung unendlich vielfach bestimmbar.

Die erste Bedingung des Geruchs ist der specifische Nerve,

dessen materielle Veränderungen in der Form des Geruchs empfunden werden; denn kein anderer Nerve theilt diese Empfindung, wenn er auch von denselben Ursachen bestimmt wird, und dieselbe Substanz, welche für den Geruchsnerven riecht, schmeckt dem Geschmackssinn und kann dem Gefühlssinn scharf, brennend u. s. w. sein. Dass der Geruch ein Geschmack in die Ferne sei, wie Kant sagte, scheint mir nicht richtig.

Die zweite Bedingung des Geruchs ist ein bestimmter Zustand des Geruchsnerven oder eine bestimmte materielle Veränderung desselben durch den Reiz oder das Riechbare.

Das Riechbare sind bei den Luftthieren in der Luft äusserst fein vertheilte Stoffe, Ausdünstungen der Körper im gasförmigen Zustande, oft so subtiler Art, dass es kein Reagens für ihre Nachweisung, als eben den Geruchsnerven giebt. Bei den Fischen sind die riechbaren Stoffe im Wasser enthalten. Der Mangel aller nähern physicalischen Kenntnisse über die Art der Verbreitung der Riechstoffe lässt es ungewiss, wie man sich die Verbreitung dieser Stoffe im Wasser zu denken hat und ob sie so im Wasser aufgelöst sind, wie ein vom Wasser absorbirtes Gas. Die Auflösung dieser Stoffe im Wasser kann natürlich kein Grund seyn, den Fischen den Geruch abzusprechen und in die Nase der Fische den Geschmack zu setzen. Denn das Wesentliche der Geruchsempfindung liegt nicht in der gasförmigen Natur des Riechbaren, sondern in der specifischen Empfindlichkeit der Riechnerven und ihrem Unterschied von der specifischen Empfindlichkeit der Geschmacksnerven. Auch das Riechbare muss sich erst im Schleim der Nasenschleimhaut auflösen, ehe es die Geruchsnerven afficiren kann und dieselbe Art der Verbreitung muss hier stattfinden, die bei der Vertheilung eines Riechstoffes im Wasser geschehen mag. Auch ist wieder der Geschmacksnerve nicht allein für das flüssige oder feste Schmeckbare empfindlich; auch gasförmige Stoffe werden zuweilen geschmeckt, wenn sie sich in der Feuchtigkeit der Zunge auflösen, wie die schweflichte Säure und mehreres Andere. Es ist also denkbar, dass ein und dasselbe Princip in dem Geruchsnerven und in dem Geschmacksnerven verschiedene Empfindungen hervorrufe, in dem einen den Geruch, in dem andern den Geschmack. Die Ansicht von Treviranus, dass das Geruchsorgan der Luftthiere einer Lunge, dasjenige der Fische einer Kieme zu vergleichen sey, ist zwar im Allgemeinen ein gutes Bild, aber man darf sich eine Verwandlung der riechbaren Stoffe, die im Wasser aufgelöst sind, in gasförmige vor der Einwirkung auf den Geruchsnerven so wenig vorstellen, als die Kiemen nöthig haben, die im Wasser resorbirten oder aufgelösten Gase in luftförmige Gase vor der Aufnahme ins Blut zu verwandeln. Der Zustand, in welchem diese Gase im Blute enthalten sind, ist schon ganz derselbe, in welchem sie sich im Wasser befinden. Endlich sind die Geruchsnerven der Fische identisch mit den Geruchsnerven aller übrigen Thiere, sie entspringen an denselben Stellen des Gehirns, aus denselben Riechlappen des Gehirns, Lobi olfactorii, welche man selbst noch bei den Säugethieren als Geruchskolben des Gehirns wahrnimmt.

Eine weitere Bedingung zum Geruch ist die Befeuchtung der Nasenschleimhaut, denn eben die Feuchtigkeit ist das Vehikel, durch welches die Riechstoffe zunächst bis zum Nerven durchgehen. Im trocknen Zustande der Nasenschleimhaut riecht man gar nicht, und schon die Verminderung der Schleimabsonderung im ersten Stadium des Catarrh's ist mit Aufhebung oder Verminderung des Geruchs verbunden.

Bei den in der Luft lebenden Thieren ist auch eine Strömung der Riechstoffe durch das Geruchsorgan zum Geruch erforderlich; die Athembewegungen bedingen diesen Impetus der Riechstoffe; durch willkührliche Aenderung der Athembewegungen haben wir auf das Riechen Einfluss, wir unterbrechen den Geruch durch den Stillstand des Athmens und schärfen ihn durch wiederholte Inspirationen.

Bei den das Wasser riechenden Thieren fällt diese Bewegung grössentheils weg, da ihre Nase in der Regel nicht durchbohrt ist, und nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Athemorgan steht. Doch findet auch hier ein Ersatz für diese Strömung statt. Denn vermöge der Athembewegungen der Kiemendeckel wird beständig ein Strom des Wassers durch deu Mund ein und durch die Kiemenöffnung wieder ausgeführt.

II. Capitel. Vom Geruchsorgan.

Die Geruchsorgane der wirbellosen Thiere sind noch wenig bekannt, obgleich viele von ihnen scharf riechen, wie die Schmeissfliegen, die in faulende Thiersubstanzen ihre Eier legen, und sich selbst durch den Geruch der Stapelia hirsuta täuschen lassen. Die hieher gehörigen Beobachtungen über die Geruchsorgane der Gliederthiere siehe in R. Wagner *vergl. Anat.* 1834. 1. 467.

Das bei der Bildung und Abänderung des Geruchsorganes angewandte Princip ist Vermehrung der riechenden Oberflächen im kleinen Raume. In dieser Hinsicht sind sich Athemorgane und Geruchsorgane sehr verwandt.

Bei den Fischen und unter den nackten Amphibien beim Proteus anguinus nach Rusconis Entdeckung geschieht die Vermehrung der Oberfläche durch Falten der Schleimhaut, die entweder neben einander liegen wie Kiemenblätter, wie bei den Cyclostomen, oder von einem Mittelpunct radial auslaufen wie beim Stör, oder von einer mittlern Leiste nach 2 Seiten parallel abgehen. Die Blätter sind oft wieder von Neuem in Büschel, Aeste u. s. w. abgetheilt.

Bei den meisten Fischen sind die Nasenhöhlen oberflächliche Gruben, welche den Gaumen nicht durchbohren. Bei Lophius piscatorius sind es gestielte Glöckchen, in deren Grund sich die Falten befinden.

Bei den Cyclostomen sind die Nasenhöhlen in eine vereinigt, ohne Scheidewand, sie ist mit einer Röhre versehen, die sich auf der Oberfläche des Kopfes (Petromyzon, Ammocoetes), oder am vordern Ende der Schnautze endigt (Myxinoiden). Diese Nasen-

röhre ist bei den Myxinoiden sehr lang und mit Knorpelringen versehen, ganz so wie die Luftröhre.

Bei den Cyclostomen ist die Nase durchbohrt und ein Gang durchbohrt den harten Gaumen. Bei den Petromyzon ist jedoch keine Oeffnung im weichen Gaumen, sondern der Nasengaumengang geht als blind geendigter Sack durch den harten Gaumen und liegt zwischen Schädel und Rachenhaut. Auch der Nasengaumengang der Ammocoetes ist blind geschlossen. Dieser Apparat dient daher bloss zum Einziehen und Ausspritzen des Wassers in und aus der Nase. Bei den Myxinoiden ist dagegen nicht bloss der harte, sondern auch der weiche Gaumen durchbohrt, und hinter der Nasengaumenöffnung liegt bloss eine segelartige, rückwärts gerichtete Klappe, welche zur Bewegung und Erneuerung des in der Nase enthaltenen Wassers zu dienen scheint.

Der Spritzapparat der Nase bei den Petromyzon und die bewegliche Klappe bei den Myxinoiden scheinen eine nothwendige Folge der übrigen Organisation dieser Thiere zu seyn. Zum Riechen ist Bewegung des Mediums gegen die riechende Fläche nothwendig, in der Luft riecht man nicht ohne Luftzug durch die Nase. Im Wasser geschieht die Erneuerung der riechbaren Wasserschichten, um den Kopf, dadurch, dass das Wasser zufolge der Athembewegungen zum Munde ein und an den Kiemenspalten ausströmt. Bei den Cyclostomen ist auf diese Weise die Erneuerung des Wassers in der Nase nicht möglich, wenn sie mit dem Maule saugen. Daher der Spritzapparat der Nase, durch welchen frisches Wasser in die Nase eingezogen und das alte ausgespritzt wird.

Die Nase der Amphibien ist immer durchbohrt. Bei einigen Proteiden geht die Nasengaumenöffnung nicht einmal durch den Knochen durch, sondern wegen der abortiven Beschaffenheit des nur im Fleisch liegenden Oberkiefers, durch die Oberlippe, diess ist aber nicht allgemeiner Character der Proteiden; denn beim Axolotl ist die Nasengaumenöffnung wie gewöhnlich von Knochen begrenzt Auch haben nicht alle Proteiden die der Fischnase ähnlichen Falten der Nasenschleimhaut, sondern nur der Proteus. Bei den beschuppten Amphibien und Vögeln treten muschelartige Fortsätze zur Vermehrung der Oberfläche auf. Die Säugethiere haben das Labyrinth des Siebbeins, die Muscheln und Nebenhöhlen der Nase. Die Vermehrung der Fläche in der untern Muschel ist unter den Säugethieren sehr bemerkenswerth. Die eigenthümlichsten Formen zeigen sich einestheils bei den Wiederkäuern, Einhufern u. A., und überhaupt häufiger bei Pflanzenfressern, anderntheils bei den Fleischfressern. Bei den Ersteren bilden die untern Muscheln ein Blatt, dessen befestigter Theil einfach ist, dessen anderer Theil sich in eine obere und untere Lamelle theilt, die sich nach entgegengesetzten Richtungen, das eine nach oben, das andere nach unten rollen, wie Rollen von Papier. Bei den Fleischfressern theilt sich dagegen der Stamm des Blattes in Aeste und Nebenäste, ohngefähr wie die Blätter am Lebensbaum des kleinen Gehirns. Die Muscheln des Menschen erscheinen gegen diese ausserordentliche Vermehrung der Oberfläche als Rudimente. Die Stensonschen Organe unterhalten bei vielen Säugethieren eine Verbindung

der Nase und des Mauls an der Stelle des Foramen incisivum. Von den Stensonschen Gängen ist noch das Jacobsonsche Organ zu unterscheiden, eine theils häutige, theils knorpelige Röhre, die auf dem Boden der Nase zwischen Vomer und Schleimhaut liegt, und mit dem Stensonschen Gange zusammenhängt. Die Function dieser Theile ist unbekannt. Rosenthal in Tiedemann's *Zeitschr. f. Physiologie.* 2. 289. Ueber den angeblichen Mangel der Geruchsnerven bei den Cetaceen siehe oben *B. I.* 3. *Auflage. p.* 781.

Die Nebenhöhlen der Nase scheinen nicht zum Geruch zu dienen. Mit Kampferdünsten geschwängerte Luft wurde in eine Fistel der Stirnhöhle von Deschamp, riechende Substanzen in die Highmorshöhle von Richerand eingespritzt, ohne dass sie gerochen wurden. Es scheint der Natur ziemlich gleich zu seyn, ob sie die Räume in den Knochen mit Luft oder Fett füllt, durch Beides werden die Knochen leichter, als sie ganz fest seyn würden. Bei den Vögeln werden viele Knochen des Stammes von Luft durch die Lungen und des Kopfes durch die Tuba gefüllt, beim Menschen nur einzelne Kopfknochen, die Zellen des Processus mastoideus und die Nebenhöhlen der Nase. Die Schleimhaut der Nase auch der Nebenhöhlen zeigt bei allen Thieren die Wimperbewegung.

Der Mechanismus der Leitung, der bei den andern Sinnen so verwickelt ist, ist beim Riechen sehr einfach. Die in der Luft schwebenden gasförmigen, vielleicht auch selbst pulverig fein vertheilten Riechstoffe werden durch die Bewegung des Einathmens in einem Strome den Schleimhautflächen zugeführt. Auch die strömende Bewegung der Luft nach aussen kann den Geruch erregen, wenn es sich um den Geruch von Stoffen handelt, die sich in den Athemwerkzeugen und Verdauungswerkzeugen nach oben entwickeln wie bei der Eructation. Nur die Art wie der Geruch gesteigert und gehindert wird, kann hier noch erwähnt werden.

Wir können den Geruch willkührlich aufheben, und uns vor der Empfindung unangenehmer Dünste so lange sichern, als wir das Einathmen durch die Nase zu unterbrechen vermögen.

Die Steigerung des Geruchs geschieht durch verstärktes Einziehen der riechenden Dünste oder auch schnell wiederholte kleine Inspirationen. Beim Spüren wird die Schichte eines Riechstoffes in der Atmosphäre aufgesucht, indem schnell wiederholte Inspirationsbewegungen in verschiedenen Richtungen gemacht werden. Die einmal aufgefundene Schichte des Riechstoffes in der Atmosphäre wird dann auf dieselbe Weise verfolgt und ergründet. Die Strömung der Riechstoffe kann auch durch den Wind begünstigt werden. Ohne zu spüren sollen Pflanzenfresser hierdurch oft die fern entwickelten Riechstoffe wittern.

Ausser dem Geruch findet in der Nase auch Gefühl durch die Nasenzweige vom 1. und 2. Ast des Trigeminus statt. Dahin gehört die Empfindung der Kälte, Wärme, des Juckens, Kitzels, Schmerzes, der Gefühlsmodus des Druckes in der Nase. Dass diese Nerven nicht den Geruchsnerven ersetzen können, sieht man deutlich bei Denjenigen, die gar keinen Geruch, aber eine sehr gute Gefühlsempfindung in der Nase haben. Vergl. oben *B. I.* 3. *Aufl. p.* 781.

Bei manchem Dunstförmigen ist es schwer die Gefühlsempfindung von der Geruchsempfindung zu trennen und was jeder von beiden gehört zu ermitteln, wie bei der Empfindung scharfer Dünste, des Ammoniakgases, Meerrettigs, Senfes u. s. w. Diese Empfindungen haben viel Aehnlichkeit mit den Gefühlsempfindungen, besonders wenn man bedenkt, dass diese scharfen Dünste einigermassen ähnlich auf die Schleimhaut der Augenlieder wirken.

III. Capitel. Von der Wirkung der Geruchsnerven.

Die Fähigkeiten der Thiere zu verschiedenen Gerüchen sind nicht gleich, und es muss von den Kräften der centralen Theile des Geruchsapparates abhängen, dass die Welt der Gerüche eines Pflanzenfressers eine ganz andere als die eines Fleischfressers ist. Die fleischfressenden Thiere sind mit dem schärfsten Geruch für specifische Eigenthümlichkeiten thierischer Stoffe, für das Auswittern der Spur begabt, haben aber keine merkliche Empfindlichkeit für den Geruch der Pflanzen, der Blumen. Der Mensch steht zwar in Beziehung auf die Schärfe des Geruchs weit unter den Fleischfressern, aber seine Geruchswelt ist mehr gleichartig ausgebildet.

Was beim Gefühlssinn das Schmerzhafte, beim Gesichtssinne das Blendende und die Disharmonie der Farben, beim Gehörsinn die Dissonanz, ist beim Geruchssinn der Gestank, der Gegensatz des Wohlgeruchs. Die Ursachen dieses Unterschiedes sind unbekannt, aber gewiss, dass Gestank und Geruch in der Thierwelt relativ sind, denn in dem uns Uebelriechenden treiben viele Thiere ihr Wesen. Ja selbst die Menschen zeigen sich darin sehr verschieden. Manche Wohlgerüche sind einigen unausstehlich, gebranntes Horn riecht manchen übel, anderen gut, ohne dass einer im letzten Fall hysterisch zu seyn braucht. Mehreren riecht Reseda nicht sehr sublim und mehr krautartig, wie Blumenbach anführt und auch ich bin in diesem Fall. Dass manche Gerüche unter sich in einem Gegensatz stehen, wie bei den Farben und Tönen, dass es auch hier Consonanzen und Dissonanzen gebe, ist zwar nicht im Einzelnen bekannt, aber sehr wahrscheinlich, da bei dem Geschmackssinn dasselbe gewiss ist. Auch die Nachempfindungen sind vom Geruchssinn nicht bekannt, obgleich schwerlich fehlend. Eine reine Beobachtung ist schwer, und der oft sehr lange in der Nase verharrende cadaveröse Geruch nach Sectionen kann nicht für einen Beweis der Nachempfindungen gehalten werden, da er wahrscheinlich objectiv ist, von Auflösung des Riechstoffs in dem Schleim.

Die subjectiven Gerüche ohne objective Riechstoffe sind noch wenig bekannt. Auflösungen von Stoffen die nicht riechen, wie von Salzen, in die Nase gespritzt, bewirkten keinen Geruch. Man weiss, dass das Reiben der electrischen Maschine einen phosphorigen Geruch erregt. Ritter beobachtete bei Anwendung des Galvanismus auf das Geruchsorgan am negativen Pol, ausser dem Drang zum Niesen und dem Kitzel, einen Geruch wie von Ammoniak, am positiven Pol einen sauren Geruch, beide Wirkungen

hielten beim geschlossen seyn der Kette an, und gingen bei Oeffnung derselben in die entgegengesetzten über. Manche riechen oft etwas Specifisches, was doch nicht da ist und was Andere nicht riechen können; bei nervenreizbaren Menschen kömmt dieses oft vor, aber es ereignet sich auch bei jedem Menschen.

Bei einem Manne, der immer einen übeln Geruch empfunden hatte, fanden Cullerier und Maignault die Arachnoidea mit Verknöcherungen besetzt und in der Mitte der Hemisphären des Gehirns scrophulöse in Eiterung übergegangene Bälge. Dubois hatte einen Mann gekannt, der nach einem Falle vom Pferde mehrere Jahre bis zum Tode einen Gestank zu riechen glaubte.

Ob stark riechende Stoffe in das Blut eines Individuums gebracht, einen Geruch vom Blute aus durch die Circulation bedingen, ist noch nicht versucht.

Kein Sinn steht übrigens in so inniger Wechselwirkung mit den instinktmässigen Wirkungen in der thierischen Oeconomie, als der Geruch und Geschmack. Die Gerüche erregen mächtig den Geschlechtstrieb der Thiere und bringen durch die Erregung des Gehirns und Rückenmarkes das Spiel der geschlechtlichen Wirkungen hervor.

Eine Zusammenstellung der auf den Geruch bezüglichen Thatsachen lieferte H. Cloquet, Osphresiologie Paris. 1821.

IV. Abschnitt. Vom Geschmackssinn.

I. Capitel. Von den physicalischen Bedingungen des Geschmacks.

Die Bedingungen des Geschmacks sind: 1) der specifische Nerve, 2) die Reizung dieses Nerven durch das Schmeckbare und 3) die Auflösung des Schmeckbaren in den Feuchtigkeiten des Geschmackorganes. Das Schmeckbare ist so schwer als beim Geruch ein bloss mechanischer Reiz, sondern eine materielle Veränderung des Nerven durch eine aufgelöste Materie, je nach der Verschiedenheit der Materien ist auch der Nerve unendlich verschieden bestimmbar und die Empfindung verschieden. Doch lässt sich die Erregung von Geschmack durch eine mechanische Veränderung der Geschmacksnerven nicht ganz als unmöglich ansehen. Druck, Zerrung, Stechen, Reiben der Zunge erregen zwar nur Gefühlsempfindungen, aber Henle beobachtete, dass ein feiner Luftstrom hier einen kühlend salzigen Geschmack wie von Salpeter bewirkt, und die mechanische Reizung des Schlundes und Gaumens bewirkt die Empfindung des Eckels, die dem Gefühl nicht, aber dem Geschmack so verwandt ist, dass sie davon nicht getrennt werden kann. Von den imponderabeln Materien bewirkt nur die Electricität Geschmack.

Ein schmeckbarer Stoff muss in der Regel entweder aufgelöst, oder wenigstens in der Feuchtigkeit der Zunge auflöslich seyn, nicht auflösliche Stoffe bewirken nur Gefühlsempfindungen der Zunge. Ob auch der blosse Contact eines nassen thierischen Nahrungsmittels und des lebendigen Organes Geschmack errege, ohne die in dem Nahrungsstoffe enthaltenen aufgelösten Theile ist zweifelhaft. Gase erregen zuweilen auch den Geschmack, wie die schweflichte Säure.

Zur innigen Einwirkung des schmeckbaren Stoffes ist die Befeuchtung der Zunge, gleichwie der Nasenschleimhaut beim Geruch nöthig. Besondere Leitungsapparate ausser dem Schleim der Zunge fehlen bei diesem Sinne. Daher sich die Untersuchung wie beim Geruchssinn sehr vereinfacht.

II. Capitel. Vom Geschmacksorgan.

Der Sitz des Geschmacks sind die Fauces und besonders die Zunge, die jedoch als Schlinkwerkzeug oft bei den Thieren wichtiger wird, so dass die zahlreichen Abweichungen dieses Organes in vergleichend anatomischer Beziehung nur wenig Interesse für die Physiologie des Geschmacks selbst haben und hier übergangen werden können. Wenn die Zunge fleischlos und spröde ist, wie bei den Fischen und vielen Vögeln (mit Ausnahme der Papageien, Enten, Gänse u. A.), so darf man deswegen doch nicht Mangel des Geschmackssinnes voraussetzen. Denn diese Empfindung ist eine Eigenschaft der ganzen Fauces, nicht eines besondern Organes, sondern der Schleimhaut jener Höhle. Nur bei denjenigen Thieren, welche ganze Thiere mit Federn und Haaren verschlingen, wird die Geschmacksempfindung schon durch die Art des Fressens vermieden, wie bei den Schlangen u. a. Hierher gehören auch die Insecten- und Körnerfressenden Vögel. Ueber das bewegliche, von Einigen für ein Geschmackswerkzeug gehaltene Organ am Gaumen der Cyprinen siehe oben p. 35.

Beim Menschen erregt die mechanische Berührung des weichen Gaumens die Empfindung des Eckels, was immer noch von einer Reflexion auf die Geschmacksnerven erklärt werden könnte, die Empfindlichkeit des Gaumens für schmeckbare Substanzen ist aber durch die Versuche von Dumas, Autenrieth, Richerand, Horn, Lenhossec, Treviranus, Bischoff bestätigt, ich empfinde deutlich den Geschmack des Käses am Gaumen, wenn ich z. B. ein Stückchen Schweitzerkäse am weichen Gaumen reibe. Dass der N. hypoglossus Bewegungsnerve, der Lingualis Empfindungsnerve der Zunge ist, geht aus den Versuchen von Dupuytren, Mayo und mir hervor, nach welchen die Reizung des Hypoglossus durch Galvanismus oder Zerrung, Zuckungen der Zunge, die Zerschneidung des Lingualis aber lebhafte Schmerzen bewirkt. Die Versuche am Lingualis erfordern in Beziehung auf Bewegung die Vorsicht, die auch bei den Versuchen über die Wurzeln der Rückenmarksnerven nöthig ist. Der Nerve muss erst vom centralen Theil abgeschnitten, und dann das peripherische Stück gereizt werden. Reizt

man den Lingualis, so lange er noch mit dem centralen Ende in Verbindung steht, so ist zu befürchten, dass eine Zuckung der Zunge und anderer Theile durch Reflexion entstehe, wie ich sie selbst neulich einmal beobachtete.

In Hinsicht der Controverse, welcher der Nerven der Zunge, ausser dem motorischen Hypoglossus, als Geschmacksnerve anzusehen sey, der N. lingualis oder glossopharyngeus, und der Ansicht von Panizza, Bischoff u. A. über diesen Punct verweise ich auf das früher mitgetheilte und Bischoff im *encyclop. Wörterb. der med. Wissensch.* R. Wagner tritt aus physiologischen und anatomischen Gründen der Theorie von Panizza bei (Froriep's *Not.* 1837. *N.* 75.), ebenso Valentin und Bruns Versuchen zufolge, während die Versuche von Kornfeld, Gurlt und mir jener Ansicht nicht günstig sind. Vergl. Muell. *Arch.* 1838. *CXXXIV.* Valent. *Repert.* 1837. 221. Valentin's Versuche betrachte ich nicht als entschieden zum Vortheil jener Theorie sprechend, da vierzehn Tage nach der Durchschneidung des Glossopharyngeus ein Thier wieder anfangen soll zu schmecken. Dieser Zeitraum ist so kurz, dass es gerade hierdurch wahrscheinlich wird, dass die Thiere den Geschmack nicht verloren hatten. Alcock's Versuche (*Lond. med. gaz.* 1836. *Nov.*) hatten kein ganz entschiedenes Resultat. Der Geschmack für Bitteres war nach Durchschneidung des Glossopharyngeus verloren, nach Durchschneidung des Lingualis nur am vordern Theile der Zunge verloren. Der Verf. theilt sowohl dem Glossopharyngeus als Lingualis und auch den Gaumenästen des Quintus Geschmack zu, die Versuche an diesen letztern Nerven fielen nicht ganz definitiv aus. Von grosser Wichtigkeit sind die pathologischen Beobachtungen, dass nämlich nach Zerstörung des Quintus der Geschmack verloren geht, wie in den Beobachtungen von Parry, Bishop und Romberg vorliegt. Druck einer Geschwulst auf den N. lingualis brachte Verlust des Geschmacks hervor. Siehe Muell. *Arch.* 1834. 132. und Romberg in Muell. *Archiv.* 1838. 3. *Heft.* Im letztern Fall war bei einer Person, die auf der einen Seite der Zunge nicht schmeckte und nicht fühlte, der Anfang des dritten Astes durch eine kleine Geschwulst verändert, der Glossopharyngeus aber gesund.

Dass der Lingualis der Hauptgeschmacksnerve der Zunge ist, halte ich aus den Versuchen von Magendie, Gurlt, Kornfeld und mir, so wie aus den pathologischen Beobachtungen von Parry, Bishop und Romberg erwiesen, nicht aber für erwiesen, dass der N. glossopharyngeus ohne Antheil am Geschmack am hintern Theil der Zunge und in den Fauces ist. Romberg schreibt ihm die Empfindung des Eckels zu, wodurch der Eingang in das Verdauungssystem geschützt wird.

III. Capitel. Vom Geschmack und von den Wirkungen der Geschmacksnerven.

Eine Theorie der verschiedenen Geschmackswirkungen ist vollends unmöglich. Das Qualitative des Geschmacks an sich, in

wie weit er von Geruch, Gefühl, Gesicht, Ton verschieden, ist hier, wie in allen Sinnen ein Unerklärliches. Das Wesen des Blauen als Empfindung lässt sich nicht übersetzen, es kann nur empfunden werden und man muss dabei stehen bleiben, dass es eine Eigenschaft der specifischen Nerven ist, dass der eine blau sieht, der andere Schall hört, der andere riecht u. s. w. Aber die Ursachen der Unterschiede mehrerer Empfindungen, deren ein und derselbe Nerve fähig ist, lassen sich wohl auffinden, wie es beim Gesicht, Gehör auch geschehen ist. Man weiss, dass der eine Ton von dem andern durch die Zahl der Stösse verschieden ist, dass bei den farbigen Eindrücken eine verschiedene Zahl der Wellen in gleicher Zeit stattfindet. Beim Geschmack, gleichwie beim Geruch sind wir weit von einer solchen Theorie entfernt.

Bellini wandte die alte Ansicht von der verschiedenen Form der kleinsten Theilchen der Körper zur Erklärung der verschiedenen Geschmäcke an, eine Ansicht, wogegen sich theoretisch Nichts einwenden lässt, die aber nicht bewiesen werden kann. Zur Zeit, wo man Alles aus chemischen Polaritäten erklärte, war auch die Anwendung der Polaritäten auf das Geschmacksorgan geläufig.

Ausser dem Geschmack empfindet die Zunge durch das Gefühl sehr fein und richtig, wie Wärme und Kälte, Kitzel, Schmerz, Druck und dadurch Form der Oberflächen.

Die Gefühlsempfindung kann in der Zunge seyn, während der Geschmack bleibt und umgekehrt. Siehe Muell. *Arch.* 1835. p. 139. Hieraus wird es wahrscheinlich, dass die Leiter für beiderlei Empfindungen, wie in der Nase, nicht dieselben sind. Begreiflicher Weise könnten in einem Nervenstamm Fasern von sehr verschiedenen qualitativen Eigenschaften enthalten seyn.

Aus den schon mitgetheilten Thatsachen geht hervor, dass der N. lingualis Ursache von Geschmacksempfindungen ist, aber die lebhaften Schmerzensäusserungen beim Durchschneiden dieses Nerven beweisen augenscheinlich, dass er auch Gefühlsnerve der Zunge ist. Auch dem N. hypoglossus kömmt ausser seiner motorischen Eigenschaft Gefühl zu. Siehe oben *B. I.* 3. Aufl. p. 666.

Da viele Substanzen während sie geschmeckt werden auch riechen, so ist der Gesammteindruck derselben für die Vorstellung oft mehr oder wenig vermischt. Durch Zuhalten der Nase lässt sich aber in solchen Fällen ermitteln, was dem Geruch angehört. Manche feine Weine verlieren sehr viel von ihrer Wirkung, wenn man beim Trinken die Nase zuhält.

Nach den Versuchen von Horn (*Ueber den Geschmackssinn des Menschen. Heidelberg* 1825.) scheinen nicht alle Substanzen auf den verschiedenen Papillen der Zunge gleich zu schmecken, eine Ansicht, worauf besonders auch die von dem ersten Geschmack oft verschiedenen Nachgeschmäcke zu führen scheinen. Horn hat Versuche mit einer Menge von Substanzen angestellt, welche theils gleich schmeckten in allen Regionen des Geschmacksorganes, theils sehr verschieden schmeckten, in der Gegend der Papillae filiformes und Papillae vallatae. In Hinsicht des Einzelnen verweise ich auf die Abhandlung.

Die Nachempfindungen sind beim Geschmack sehr deutlich und oft lange dauernd, das Schmecken einer Substanz verändert den Geschmack einer andern. Wenn ich Calamus Wurzel gekaut habe, so schmeckt mir nachher Milch und Caffe säuerlich; der Geschmack des Süssen verdirbt den Geschmack des Weines, der Geschmack des Käses erhöht ihn. Es ist also wie bei den Farben, wovon eine die Empfindung der ihr entgegengesetzten oder complementären erhöht. Doch ist es noch nicht gelungen die Gegensätze der Geschmäcke unter allgemeinen Principien wie bei den Farben aufzufassen; aber die Kochkunst benutzt die Consonanzen in der Folge und Verbindung der Geschmäcke von jeher practisch, gleichwie die Malerei und Musik die Grundsätze der Harmonie practisch angewandt haben, ohne das Gesetzliche zu kennen.

Häufige Wiederholung desselben Geschmacks hintereinander stumpft ihn immer mehr ab, so wie eine Farbe um so schmutziger erscheint, je länger sie betrachtet wird. Kann man bei verbundenen Augen zwar im Anfang weissen und rothen Wein unterscheiden, so verliert man doch bald diese Fähigkeit, wenn man öfter den einen und andern probirt, wie man leicht erfahren kann.

Kommen die schmeckbaren Substanzen nur einfach mit der Oberfläche des Organes in Berührung, ohne darauf herum bewegt zu werden, so werden sie oft sehr undeutlich, zuweilen gar nicht geschmeckt. Dagegen wird der Geschmack geschärft durch wiederholtes Andrücken, Reiben und Bewegen der schmeckbaren Substanz zwischen Gaumen und Zunge. Entweder ist hier der mit Impetus verbundene Eindruck stärker, wie beim Geruch, oder die Thatsache hängt von der schnellen Abstumpfung der schmekkenden Theilchen ab, so dass die Bewegung nöthig ist, um das schmeckbare auf immer neue, noch frische oder unermüdete Theilchen des Nerven zu bringen. Eine Wechselwirkung von 2 thierischen, sich berührenden Oberflächen, die Raspail neulich annahm, ist deswegen ganz unwahrscheinlich, weil die Reibung denselben Erfolg hat, wenn die schmeckbare Substanz auf andere Art auf der Zunge bewegt wird, ohne dass die Zunge den Gaumen berührt.

Die subjectiven Geschmäcke sind noch wenig bekannt. Ausser der Empfindung des Eckels von mechanischer Reizung der Zungenwurzel und des Gaumensegels gehört hierher die oben angeführte Beobachtung von Henle von Geschmacksempfindung durch einen feinen Strom der Luft und die Empfindung des säuerlichen und alkalischen Geschmacks bei der Belegung der Zunge durch zwei heterogene Metalle die kettenartig verbunden werden. Was der Erklärung dieser Erscheinung durch Zersetzung der Speichelsalze entgegen zu stehen scheint, wurde bereits oben B. I. 3. Aufl. 629. angeführt.

Auch eine Veränderung des Blutes scheint auf den Geschmack zu wirken, so wie narkotische Stoffe im Blut Veränderung des Sehens, Flimmern vor den Augen u. dgl. bewirken. Hierher gehört die Beobachtung von Magendie, dass Hunde, denen Milch ins Blut injicirt worden, mit der Zunge sich das Maul zu lecken

pflegen. Veränderungen des Geschmacks und eigenthümliche Geschmäcke von innerer Veränderung der Nerven sind wahrscheinlich, aber schwer von denjenigen Geschmäcken zu trennen, die von objectiven Ursachen ausser der Zunge, nämlich durch Veränderungen in dem Mundschleim entstehen.

V. Abschnitt. Vom Gefühlssinn.

Der Gefühlssinn hat eine viel grössere Ausdehnung als die übrigen Sinne; alle Theile, in welchen die Empfindung von der Gegenwart eines Reizes, als einfaches Gefühl bis zu den Modificationen des Schmerzes und der Wollust, und die Empfindungen der Wärme und Kälte möglich sind, gehören diesem Sinne an. Die äusseren Ursachen, welche diese Empfindung erregen, sind mechanische chemische, electrische Einwirkungen und Temperaturveränderungen. Diese Empfindungen dehnen sich aber über das ganze animalische und organische System aus, obgleich die Schärfe derselben in den verschiedenen Theilen äusserst verschieden ist. Selbst in die Sinnesorgane anderer Sinne dringt der Gefühlssinn ein, wo er dann durch andere Nerven als die specifischen Nerven der Sinnesorgane bedingt wird, so ist Gefühlsempfindung am Auge, im Ohr, in der Nase, im Geschmacksorgan. Die Nerven der Gefühlsempfindungen sind die mit Knoten an ihrem Ursprung versehenen hintern Wurzeln der Nerven des Vertebral- oder Spinalsystems, wozu zum Theil Gehirnnerven und alle Rückenmarksnerven gehören. Die sensoriellen Fäden, aus welchen diese hintern mit einem Knoten versehenen Wurzeln bestehen, gehen grössten Theils in die Nerven des animalischen Systems, zum kleinen Theil in die des organischen Systems ein, in ersteren die lebhafte, in letzteren die dunkle und wenig scharfe Gefühlsempfindung bedingend. Das sogenannte Gemeingefühl ist nichts Eigenthümliches, sondern nur das Gefühl in den innern Theilen, dessen Modus im krankhaften Zustande von der Müdigkeit bis zum Schmerz, und im gesunden von dem Gefühl des Behagens bis zur Wollust und zum Kitzel unendlicher Modificationen fähig ist.

Ausbreitung des Gefühls, Gefühlsorgane.

Das Tastgefühl ist dem Wesen nach nicht von der Gefühlsempfindung verschieden, der Unterschied liegt nur in der Beziehung des mit dem Gefühl versehenen Organes zur Aussenwelt. Jeder durch Gefühl empfindliche Theil, der an der Oberfläche liegt, hat in so fern Tastgefühl, indem er geeignet ist, die Empfindung von äussern Körpern angeregt zu erhalten. Hierzu

wird er noch geeigneter, wenn er fein unterscheidet und beweglich ist. Tastwerkzeuge sind dem zu Folge die ganze Haut, besonders aber die Hände, die Zunge, die Lippen, namentlich bei den Katzen und Seehunden, wo sie mit Tasthaaren versehen sind, die einen empfindlichen und nervenreichen Keim haben, die Nase bei den mit einem Rüssel versehenen Thieren, die Tentakeln der Mollusken, die Antennen und Palpen der Insecten, die fingerförmigen Fortsätze an den Brustflossen der Triglen, deren Nerven sogar von einer Reihe von eigenen Lappen oder Anschwellungen des Rückenmarks entspringen.

In der Haut ist das zum Tasten ausgebildete Gefühlsorgan, der Papillarkörper, kleine mit der Loupe zu sehende Unebenheiten der Oberfläche, welche von dem Rete Malpighii scheidenartig bedeckt sind und in welchen sich die Nerven endigen. Siehe Breschet und Roussel de Vauzème *Ann. d. sc. nat.* 1834. *T. I. p.* 167.

Ausführlichere Erörterungen über die Tastwerkzeuge gehören in die vergleichende Anatomie.

Die mit Gefühl versehenen Theile sind gewisse Regionen der Centralorgane des Nervensystems selbst, die Vertebralnerven oder Nerven des Spinalsystems und die meisten Organe durch diese.

In den Centralorganen giebt es solche Theile, welche ohne alle Empfindlichkeit zu seyn scheinen, wie die Oberfläche der Hemiphären, deren Verletzlichkeit ohne Empfindung in zahlreichen Erfahrungen bei Menschen und Thieren vorliegt. In Fällen, wo nach Kopfverletzungen bei bewussten Menschen, theilweise zerstörte und vorgefallene Theile der Oberfläche des Gehirns von dem übrigen getrennt werden mussten, ist dieses ohne alles Gefühl und Bewusstseyn geschehen.

Andere Theile der Centralorgane hingegen sind lebhafter Empfindungen fähig. Diese Empfindungen sind aber nicht überall Gefühlsempfindungen.

Die Centraltheile des Gesichtssinnes bewirken gereizt Lichtempfindungen. Man weiss aus alten Erfahrungen, dass Druck auf das Gehirn bei Menschen ein Sehen von Lichtern und Blitzen hervorbrachte. Doch giebt es auch Theile des Gehirns, welche der gewöhnlichen Gefühlsempfindungen fähig sind. Obgleich manches Kopfweh nur Gefühl in den Nerven der äussern Bedeckungen ist, so ist doch die Möglichkeit der Gefühlsempfindung, z. B. des Drucks und des Schmerzes auch im Gehirn möglich, wie in den Erfahrungen von chronischen Gehirnkrankheiten vorliegt, wo der Kranke ein mehr oder weniger deutliches Gefühl hatte von dem Orte einer Veränderung. Siehe Nasse *über Geschwülste im Gehirn p.* 26., in Abercrombie *über die Krankheiten des Gehirns, übersetzt von* De Blois. *Bonn.* 1821.

Im Spinaltheil des Gehirns und im Rückenmark kommen keine anderen Empfindungen als Gefühlsempfindungen vor. Diese Empfindungen werden theils an dem Orte ihres objectiven Sitzes, nämlich in der Mitte des Rückens, theils aber auch in den äussern Theilen, zu welchen die Rückenmarksnerven hingehen, gefühlt, als Schmerzen, Ameisenlaufen. Die letztern kommen zu-

weilen ohne alle örtliche Empfindung im Rücken selbst vor und die ersteren wieder zuweilen ohne jene. Die Ursache dieses merkwürdigen Verhältnisses ist unbekannt.

Die Gesetze, welche für die Empfindung in den Nerven bei Reizung derselben gelten, können hier übergangen werden, da alles dahin Gehörige schon in der Physik der Nerven mitgetheilt worden.

Wir haben es daher hier zuletzt nur mit den Gefühlsempfindungen zu thun, welche von den peripherischen Endigungen der Nerven aus erregt werden.

Ganz unempfindlich sind das Horn- und Zahngewebe bis auf ihre Keime, zu welchen Nerven gleich wie Gefässe hingehen. Das Stumpfwerden der Zähne von Säuren muss daher als eine Affection des Zahnkeimes angesehen werden; bei der röhrigen Bildung der Zahnsubstanz lässt sich indess eine Fortleitung der Säure durch die capillaren Röhren des Zahnes zum Keime leicht einsehen, mag die Säure nun an dem vom Schmelze unbedeckten Theil des Zahnes oder durch die häufigen Risse des Schmelzes einwirken.

An den Sehnen, Knorpeln und Knochen fehlt die Empfindlichkeit im gesunden Zustande, wie Haller in zahlreichen Versuchen bewies. Auch die Beinhaut der Knochen ist nach diesen Versuchen unempfindlich. Die Dura mater scheint eine Ausnahme zu machen. Es ist wenigstens gewiss, dass die Dura mater Nerven besitzt. Siehe oben B. I. 3. Aufl. p. 764. In Krankheiten können die Knochen sehr schmerzhaft werden, so wie auch die vom N. sympathicus versehenen schwach empfindlichen Organe des chylopoetischen Systems in Krankheiten sehr schmerzhaft werden. In Hinsicht der zahlreichen Versuche über diesen Gegenstand muss ich auf Haller's Zusammenstellung verweisen. Haller *elem. physiol. IV. p.* 271—289.

In den Muskeln ist die Empfindlichkeit viel geringer als in der äussern Haut, wie man beim Durchstechen der Haut und Muskeln mit einer Nadel sieht. In der Haut selbst zeigt sich eine grosse Verschiedenheit, wahrscheinlich je nach der Zahl der Nervenfasern, die sich in den verschiedenen Hauttheilen ausbreiten. Die hierher gehörenden, von E. H. Weber entdeckten Thatsachen sind bereits oben B. I. 3. Aufl. p. 711. mitgetheilt. An denselben Stellen der Haut, wo eine geringe Entfernung zweier gereizter Puncte wahrgenommen wird, werden nach Weber's Beobachtungen auch die Unterschiede der Temperatur und die Gewichte aufgelegter Körper am sichersten unterschieden. Auch die Grösse eines Gewichtes wurde an diesen Stellen stärker empfunden, und ein auf der Volarfläche des Fingers aufgelegtes Gewicht erschien grösser als der Druck desselben Gewichtes auf die Haut der Stirn. In den Schleimhäuten ist die Empfindlichkeit sehr gross, so weit sie dem respiratorischen System, den Sinnesorganen und den Geschlechtstheilen angehören und von animalischen Nerven abhängen, sehr viel geringer in dem Tractus intestinalis, dessen Empfindlichkeit hingegen im krankhaften Zustande zu dem höchsten Grade sich steigern kann. Das äussere

und innere Hautsystem unterscheiden sich in Hinsicht der Art ihrer Empfindungen noch darin, dass die aus inneren Ursachen eintretende und in Rückenmarksaffectionen häufige subjective Empfindung der Formication nur in der äussern Haut, nicht in den Schleimhäuten vorzukommen scheint.

Modi oder Energieen des Gefühls.

Der Modus der Gefühlsempfindungen ist so eigenthümlich, wie in irgend einem Sinnesorgane. Die Art, wie das Gefühl bei der leisesten Affection bis zur heftigsten die Gegenwart eines Reizes anzeigt, ist hier weder Ton, noch Licht und Farbe u. s. w., sondern eben das unbeschreibliche, das man Gefühl nennt, dessen Modificationen oft nur von der Ausdehnung der afficirten Theile abhängen. Das stechende Gefühl z. B. zeigt die Affection beschränkter Theilchen in heftiger Art, das drückende eine geringere Affection in grösserer Ausdehnung und Tiefe an. Der letztere Umstand unterscheidet das Gefühl des Drucks von dem Gefühl der blossen Berührung.

Die Empfindung des Stosses oder Schlages entsteht durch eine plötzliche Veränderung des Zustandes der Nerven von aussen oder innen, durch den mechanischen Einfluss eines Körpers, oder auch durch Störung des electrischen Gleichgewichts. Auch eine vom Gehirn aus bewirkte plötzliche Strömung des Nervenprincips im Erschrecken kann als Schlag oder Stoss gefühlt werden. Der Modus dieser Empfindung hängt also durchaus nicht von der mechanischen Wirkung eines Körpers ab.

Eine schnelle Wiederholung von Stössen bewirkt in einigen andern Sinnen eigenthümliche Empfindungen, deren Qualität von der Zeitfolge der Stösse abhängt, wie beim Gehörsinn und wie es scheint auch beim Gesichtssinne. Diese Art der Reizung hat hingegen gar keinen Erfolg beim Geruchs- und Geschmackssinne. Wie verhält sich in dieser Hinsicht der Gefühlssinn?

Eine schnelle Folge von gleichen Stössen, wie sie zur Empfindung eines Tones nöthig sind, wird vom Gefühlssinne als Schwirren empfunden. So fühlt man nicht bloss die Resonanz eines festen Körpers, sondern auch einen im Wasser erregten Ton, wenn man mit der Hand einen festen Körper, ein Stück Holz ins Wasser hält. Ist die Empfindung der Schwingungen stärker, und findet sie an reizbaren Theilen, wie an den Lippen statt, so kann sie den Gesammtausdruck des Kitzels haben, wie wenn man eine schwingende Stimmgabel der Lippe nähert. Dieselbe Empfindung entsteht leicht an der Zunge durch Schwingungen. Diess könnte auf die Vermuthung führen, dass auch bei den anderweitig entstandenen Empfindungen des Kitzels von Berührung, Schaukeln u. A. und der dem Kitzel nahe verwandten Wollust Schwingungen des Nervenprincips selbst in den Nerven mit bestimmter Geschwindigkeit stattfinden. Die Empfindung des Kitzels und der Wollust ist in allen dem Gefühl überhaupt unterworfenen Theilen des Körpers möglich, am heftigsten in

den Genitalien, geringer in der weiblichen Brust, in den Lippen, in der Haut und in den Muskeln.

Die Empfindung des Schmerzes scheint durch die Heftigkeit der Gefühlserregung bestimmt zu seyn.

Das Gefühl der Wärme und Kälte entsteht am leichtesten durch Veränderung des Zustandes der Materie in den thierischen Theilen, vermöge der physicalischen Wärme, aber oft auch entsteht das Gefühl der Wärme und Kälte, wo sie mittelst des Thermometers nicht nachweisbar sind, durch eine Verstimmung in den Nerven, und die plötzliche Empfindung der grössten Kälte und der Verbrennung scheinen sich sehr ähnlich zu seyn.

Bei der Vergleichung der Temperaturen ungleicher Medien durch das Gefühl kömmt übrigens auch die Mittheilungsfähigkeit der Körper für die physicalische Wärme in Betracht. Dieselbe Temperatur wirkt sehr viel stärker auf unsere Haut, und wird viel wärmer gefühlt, wenn es Wasser als wenn es Luft ist. Kaltes Wasser erscheint auch kälter als Luft von derselben Temperatur, weil das Wasser die Wärme unserem Körper schneller entzieht.

Gefühl und Vorstellung.

Eine Gefühlsempfindung wird immer dann bewusst, wenn das Sensorium commune darauf aufmerksam ist. Ohne diese Intention kann der organische Vorgang der Empfindung vorhanden seyn, aber sie wird nicht bemerkt. Durch die Intention der Vorstellung erhält eine Gefühlsempfindung auch grössere Schärfe und Intention. Eine schmerzhafte Empfindung ist um so schmerzhafter, je mehr sich die Aufmerksamkeit darauf richtet. Eine an sich unbedeutende Empfindung kann auch durch die Vorstellung eine sehr lästige Dauer erhalten, wie die Empfindung des Juckens an einer ganz beschränkten Stelle der Haut. Wenn Jemand beim Sprechen Theilchen Speichel umherspritzt, die uns im Gesichte treffen, so wird die Empfindung davon durch die Vorstellung des Speichels sehr gesteigert und dadurch langwierig.

Durch die Mitwirkung der Vorstellung und den Gebrauch der schon gewonnenen Erfahrungen kommen wir dahin, das Empfundene bald in uns, bald ausser uns zu setzen. An und für sich kann man nur den in den Nerven vorhandenen Zustand empfinden, mag er von aussen oder innen erregt seyn. Fühlen wir etwas an, so fühlen wir nicht das äussere Ding selbst, sondern nur die Hand, welche das Ding berührt, die Vorstellung der äussern Ursache bewirkt, dass wir das Empfundene den Körper selbst nennen. Wie die Vorstellung von der Aussenwelt als dem eigenen Körper entgegengesetzt zuerst erworben werde, ist schon oben p. 355. auseinander gesetzt. Vorstellung von fühlbaren Gegenständen beruht in letzter Instanz auf der Möglichkeit die verschiedenen Theile unseres Körpers als räumlich verschieden zu unterscheiden. Diese Unterscheidung wird durch den Gebrauch des Sinnes lebhafter und sicherer. Sie erlangt bei dem Erwachsenen einen solchen Grad von Gewissheit, dass wir selbst bei ei-

ner gezwungenen Lageveränderung unserer Körpertheile, wenn wir nicht auf diese Lageveränderung aufmerksam sind, uns die Gefühle dieser Theile in der relativen Ordnung vorstellen, welche die fühlenden Theile im naturgemässen Zustande haben. Daher die schon ARISTOTELES bekannte Erfahrung, dass ein zwischen zwei übereinandergelegten Fingern derselben Hand rollendes Kügelchen, wie zwei entgegengesetzte Kugelflächen, die verschiedenen Kugeln anzugehören scheinen, empfunden wird.

Die Ausdehnung einer Gefühlsempfindung über eine grosse Oberfläche erscheint der Vorstellung ceteris paribus als intensiverer Eindruck, als wenn nur ein kleiner Theil diese Empfindung hat. WEBER fühlte warmes Wasser mit der ganzen darin getauchten Hand wärmer, als wärmeres Wasser, in das er nur einen Finger der andern Hand getaucht hatte. Aehnliche Erfahrungen macht man beim Baden in warmem und kaltem Wasser.

Da jede Empfindung mit einer Vorstellung verbunden ist und eine Vorstellung zurücklässt, welche reproducirt werden kann, so kann auch eine Vorstellung von einer Empfindung mit einer wirklichen Empfindung verglichen werden. So fühlen wir ein Gewicht schwerer oder leichter, als ein anderes, welches wir vorher empfunden haben, und wovon wir zur Zeit des Fühlens des zweiten Gewichtes nur noch die Vorstellung haben. E. H. WEBER konnte sogar den Unterschied zweier Gewichte oder zweier Temperaturen deutlicher wahrnehmen, wenn er sie nach einander empfand, als wenn sie zu gleicher Zeit von verschiedenen Händen empfunden wurden. Die Fähigkeit der Vergleichung verliert sich aber mehr und mehr, je mehr Zeit zwischen der ersten und zweiten Empfindung verstreicht.

Gefühl und Bewegung.

Ein gewisser Grad von Gefühlsempfindung ist auch den Muskeln eigen, bei krankhafter Affection der Muskelnerven kann er sehr gesteigert seyn. Diese Empfindung steht nicht immer in geradem Verhältniss mit der Zusammenziehung der Muskeln und schon daraus ist es wahrscheinlich, dass es nicht derselbe Act in denselben Nervenfasern ist, welcher die Bewegung und die Empfindung in den Muskeln hervorruft. So z. B. kann die Empfindung von Krampf der Wadenmuskeln sehr heftig und die Bewegung dabei äusserst gering seyn. Dasselbe beobachtet man zuweilen in dem Musculus digastricus maxillae inferioris beim Gähnen. Bei einer Disposition zu wiederholtem Gähnen tritt zuweilen nach einem sehr heftigen Gähnen ein Krampf im vordern Bauch jenes Muskels ein, der äusserst schmerzhaft ist. Dann hat aber die Bewegung des Gähnens schon aufgehört und die krampfhafte Bewegung ist viel geringer, als sie während des Gähnens war.

Die Empfindung der Zusammenziehung in den Muskeln macht uns geschickt, die Kraft der Muskeln beim Widerstand gegen Druck und beim Heben der Gewichte zu vergleichen. Diese Empfindung der Gewichte ist nach WEBER schärfer als die ihres einfachen Drukkes. Nach E. H. WEBER nimmt man eine zwischen zwei Gewichten

stattfindende Gewichtsverschiedenheit noch dann wahr, wenn der Unterschied auch nur $\frac{1}{30}$ oder $\frac{1}{15}$ des einen Gewichtes beträgt. Hierbei kömmt es nicht auf die absolute, sondern auf die relative Grösse des Gewichtsunterschiedes an. Es ist übrigens nicht ganz gewiss, ob die Vorstellung von der angewandten Kraft der Muskelzusammenziehung allein von der Empfindung abhängig ist. Wir haben eine sehr sichere Vorstellung und Vorausbestimmung von dem Mass der vom Gehirn ausgehenden Nervenwirkung, welche nöthig ist, um einen gewissen Grad der Bewegung hervorzubringen. Ein Gefäss, dessen Inhalt wir nicht kennen, heben wir mit einem Mass von Kraft, die nach einer blossen Vorstellung voraus bestimmt und gemessen wird. War zufällig ein sehr schwerer Inhalt, z. B. Quecksilber darin, so entfällt uns das Gefäss leicht, oder zieht schnell die Hand herab, die es zu heben versuchte, weil das voraus bestimmte Mass der Zusammenziehung oder der Nervenwirkung falsch war. Diese Täuschung erfahren wir auch beim Gehen im Dunkeln auf einer Treppe, indem wir die Bewegungen für eine Stufe einleiteten, die nicht vorhanden war. Es könnte wohl möglich seyn, dass die Vorstellung des Gewichtes und des Druckes beim Heben und Widerstehen auch zum Theil nicht Gefühl im Muskel, sondern ein Wissen von dem Mass der vom Gehirn incitirten Nervenwirkung ist. Die Gewissheit der Kraftlosigkeit, ein Gewicht nicht ferner halten zu können, muss auch wohl von dem wirklichen Gefühl der Ermüdung in den Muskeln unterschieden werden.

Bei den Tastvorstellungen, von Empfindungen die mit Bewegung verbunden sind, drängt sich dieselbe Idee auf. Die Empfindung der Bewegung ist bei den Bewegungen der Hand sehr gering und die Menschen, welche die Lage der Muskeln für eine gewisse Bewegung nicht kennen, ahnden nicht einmal, dass die Bewegung der Finger am Vorderarm ausgeführt wird. Dennoch ist die Vorstellung von dem räumlichen Effect der Bewegung eine sehr bestimmte, und die dadurch hervorgebrachte Vorstellung von der Raumerfüllung eines Körpers und seiner Form hängt grossentheils von der Vorstellung des Bewegungseffectes ab. Es kann daher wohl seyn, dass das Sensorium, ohne dass Gefühle dazu nothwendig sind, doch die durch willkührliche Bewegung zurückgelegten Räume zu beurtheilen weiss, aus den Gruppen von Nervenfasern, denen der Strom des Nervenprincips zugewendet wird. Am bewunderungswürdigsten erscheint die Sicherheit des Masses der Bewegungen oder der sogenannte Muskelsinn bei allen Bewegungen, bei welchen das Gleichgewicht des Körpers oder äusserer von uns gestützter Körper bei sehr geringer Unterstützungsfläche, oder gar bei willkührlichen oder unwillkührlichen Bewegungen unseres ganzen Körpers erhalten wird.

Das Tasten ist nichts Anderes, als ein willkührliches Fühlen mit Bewegungen, wie das Spüren beim Riechen. Jeder empfindliche Theil, der durch Bewegungen in verschiedene räumliche Relationen zu äussern Körpern durch Berührung treten kann, ist auch tastend. Das Tasten ist daher keinem bestimmten Theil des Körpers allein eigen. Allerdings ist die Hand dazu am geschick-

testen durch ihren Bau, namentlich durch die Möglichkeit der Pronation und Supination, wodurch der Raum rotirend durchmessen wird, durch die Opposition des Daumens gegen die Hand, und durch die relative Beweglichkeit der Finger. Ferner hängt die Fähigkeit zum Tasten von der Feinheit des Gefühls und von der Isolirung der Empfindung in den Theilchen des empfindlichen Organes ab. Die regelmässige Furchung der Haut an der Hohlhand mit Ordnung der Hautpapillen in Reihen muss die Feinheit des Getastes erhöhen, insofern diese Unebenheiten leichter die Unebenheiten der Körper entdecken und leichter isolirt davon afficirt werden.

Bei der Bildung einer Tastvorstellung von der Gestalt und Ausdehnung einer Fläche, multiplicirt die Vorstellung das Mass der Hand oder des berührenden Fingers so oft, als diess Mass in dem Raum enthalten ist, den das bewegende Glied beim Tasten zurücklegt. Die Tastvorstellung von räumlicher Ausdehnung wiederholt diesen Act nach den verschiedenen Dimensionen des Körpers.

Nachempfindung und Gegensätze des Gefühls.

Die Nachempfindungen des Gefühls sind sehr lebhaft und dauernd. So lange der Zustand dauert, in den der Reiz das Organ versetzt hat, so lange dauern auch seine Empfindungen, wenn der Reiz längst entfernt ist. Die schmerzhaften, wie wollüstigen Empfindungen liefern davon Beispiele.

Die beim Sehen erörterten Verhältnisse über die Gegensätze der Empfindungen wiederholen sich bei den Gefühlsempfindungen. Wenn man in einer warmen Temperatur zugebracht hat, so fühlt man die geringste Erniedrigung der Temperatur als kalt, die sonst noch für warm gehalten worden wäre. Ein plötzlicher Unterschied von einigen Graden Wärme, kann, wenn die Wärme vorher anhaltend war, bis zum Frieren empfunden werden. Daher erkältet sich der Mensch in allen Climaten, auch den wärmsten leicht. Wärme und Kälte sind relativ. Das Warme ist der Empfindung kalt, je nach dem Zustand, worin das Organ ist. Ein Abnehmen eines lange dauernden Schmerzes ist Wohlthat, wenn die Reizung auch nur bis zu einem Grade sich ermässigt, der bei vorher gesunder Stimmung unerträglich erschienen wäre.

Subjective Gefühlsempfindungen.

Bei keinem Sinne sind die subjectiven Empfindungen aus von innen entstandenen Zuständen häufiger, als beim Gefühlssinn. Wollust, Schmerz, Gefühl der Kälte, Wärme, Leichtigkeits- und Schwergefühl, Gefühl der Ermüdung u. A. sind aus innern Ursachen möglich. Die Neuralgien, das Schaudergefühl, das Ameisenlaufen, die im Schlafe entstehenden spontanen Zustände der Geschlechtsorgane liefern auffallende Beispiele. Der mit dem Herzschlag verstärkte Strom des Blutes zu den Organen wird in fast allen Sinnesorganen empfun-

den, in jedem auf die dem Sinnesnerven eigene Weise, als pulsirende Lichtfigur im Sehnerven, als pulsirendes Zischen und Brausen im Ohr, als pulsirendes Gefühl im Gefühlsnerven. Diese Empfindung hat mechanische Ursachen, aber sie kann durch einen Zustand der Nerven bedingt werden, wo sonst der Puls nicht empfunden wird, und so wird oft der Puls in Theilen gefühlt, zu welchen keine verstärkte Bewegung des Blutes stattfindet. Auch die durch Vorstellungen erregbaren Empfindungen des Gefühls müssen hier erwähnt werden. So wie die geschmacksähnliche Empfindung des Eckels durch die lebhafte Vorstellung des Eckelhaften entstehen kann, so erregt auch die Vorstellung des Schmerzes oft den Schmerz, in einem Theil, der zum Schmerz disponirt ist. Ist ein Organ der Empfindung wie von Schiessen und Strömen dahin ausgesetzt, so entsteht das einige Zeit ausgebliebene Strömen, wenn man daran denkt. Die Vorstellung des Schauderhaften erregt die Gefühlsempfindung des Schauders; bei der Spannung, Rührung, Begeisterung, tritt bei Einigen ein Gefühl von Concentration im Scheitel und ein Rieseln durch den Körper ein; beim Erschrecken hat man Empfindungen in vielen Theilen des Körpers und selbst die Vorstellung des Kitzelns erregt dem Kitzlichen die Empfindung, wenn er sieht, dass Jemand die Bewegung macht.

Die meisten subjectiven Gefühlsempfindungen kommen bei Menschen von reizbarem Nervensystem, sogenannten Hypochondristen, und Hysterischen vor, von denen man zuweilen sagt, dass sie sich Schmerzen einbilden. Wenn darunter bloss vorgestellte Schmerzen verstanden werden sollen, so ist es gewiss unrichtig, dass man ihnen eingebildete Schmerzen zuschreibt. Der Schmerz ist niemals eine Einbildung und aus innern Ursachen gewiss so wahrhaft, wie von äussern, nur die Vorstellung des Schmerzes ist ohne Empfindung, aber über die Vorstellung des Schmerzes wird Niemand klagen. Allerdings aber kann das gereizte Vorstellen den vorhandenen Schmerz steigern und bei der Disposition zum Schmerz, den empfundenen Schmerz hervorrufen.

Die Sympathieen des Gefühlssinnes mit anderen Sinnen und mit den Bewegungen erfolgen durch Reflexion, das dahin gehörige ist in der Lehre von der Reflexion abgehandelt, und die Wechselwirkung der Gefühlsempfindungen mit den Absonderungen sind auch in der Nervenphysik erläutert worden.

